

AUS DER KLINIK FÜR
NEUROCHIRURGIE DER
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

**DER LANGZEITVERLAUF DES KORREKTURERGEBNISSES
NACH IMPLANTATION EINES FIXATEUR INTERNE BEI
FRAKTUREN DES THORAKOLUMBALEN ÜBERGANGES UND
DER LENDENWIRBELSÄULE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER
FRAKTURFORM**

DISSERTATION

Zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät

der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von

Philipp Klawunde

aus

Berlin

Magdeburg

2007

Meiner Familie

Dokumentationsblatt

Bibliographische Beschreibung:

Klawunde, Philipp:

Der Langzeitverlauf des Korrekturergebnisses nach Implantation eines Fixateur interne bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule in Abhängigkeit von der Frakturform. – 2007. – 81 Bl. : 31 Abb., 12 Tab., 1 Anl.

Kurzreferat

Die Auffassungen zur operativen Therapie instabiler Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule sind uneinheitlich. Eine klare Empfehlung, wie eine Fraktur versorgt werden soll, existiert nicht. Die Vermeidung einer bleibenden Deformität und deren Spätfolgen ist dagegen eines der unstrittigen Behandlungsziele. Der Fixateur interne ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Reposition und Stabilisation von Wirbelkörperbrüchen. Häufig kommt es jedoch nach einem variablen Intervall zum unterschiedlich ausgeprägten Verlust der erreichten Korrekturstellung.

Die retrospektive Analyse klinischer und radiometrischer Parameter von 92 Patienten nach Implantation eines Fixateur interne soll den Verlauf der Korrekturstellung bis erfolgter Materialentfernung in Abhängigkeit einfach zu bestimmender posttraumatischer Wirbelveränderungen in Anlehnung an die „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer aufzeigen. Dabei wird auch der genaue Ort und Zeitverlauf der Sinterung untersucht sowie der Nutzen einer interkorporellen Spongiosaplastik.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Fixateur interne bei Frakturen vom Typ B der Meyer-Klassifikation die Korrekturstellung gut halten kann. Verletzungen vom Typ C der Meyer-Klassifikation zeigen einen deutlich höheren Korrekturverlust nach der Fixateur interne-Versorgung. Der Hauptkorrekturverlust tritt im Bereich des Zwischenwirbelraumes der verletzten Bandscheibe auf. Eine von dorsal her eingebrachte Spongiosaplastik beeinflusst die Zusammensinterung der Korrekturstellung nicht. Es konnte somit gezeigt werden, dass mit Hilfe der Meyer-Klassifikation anhand relativ einfach zu bestimmender Verletzungszeichen des Wirbels das Ausmaß einer späteren Deformität nach der Fixateur interne-Behandlung vorhergesagt werden kann. Hieraus erscheint die Schlussfolgerung berechtigt, bei Typ C-Verletzungen zum Fixateur interne weitere Stabilisierungsmaßnahmen zu ergreifen.

Schlüsselwörter: thorakolumbale und lumbale Wirbelkörperfraktur, operative Behandlung, Fixateur interne, Korrekturverlust, posttraumatische Kyphose

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Biomechanische Modelle der Wirbelsäule und Klassifikationen von Wirbelfrakturen	1
1.2 Das Auftreten und die Folgen einer thorakolumbalen oder lumbalen Wirbelfraktur	6
1.3 Behandlung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Bereiches und der Lendenwirbelsäule	8
1.3.1 Konservative Wirbelbruchbehandlung	8
1.3.2 Operative Wirbelbruchbehandlung.....	8
1.3.3 Konservative versus operative Therapie.....	11
1.4 Veränderung der Biomechanik der Wirbelsäule durch den Fixateur interne	14
1.5 Fragestellung: Wann ist der Fixateur interne ausreichend?	15
2 Patienten und Methoden	16
2.1 Patienten	16
2.2 Unfallkategorie und Unfallursache	18
2.3 Frakturlokalisation	19
2.4 Klinisch-neurologischer Aufnahmebefund	20
2.5 Frakturklassifikation und Frakturmerkmale	21
2.5.1 Frakturtyp	21
2.5.2 Anzahl der verletzten Säulen.....	21
2.5.3 Translokation	22
2.5.4 Intraspinale Kompression.....	22
2.5.5 Posttraumatische Fehlstellung	23
2.5.6 Ventrale Höhe.....	23
2.6 Therapie	24
2.6.1 Implantation des Fixateur interne	24
2.6.1.1 Operationsindikation.....	24
2.6.1.2 Operationszeitpunkt.....	24
2.6.1.3 Operation	25
2.6.1.3.1 Reposition und Stabilisation.....	26
2.6.1.3.2 Dekompression des Spinalkanals u. intraoperative Myelographie...	26
2.6.1.3.3 Rekonstruktion der ventralen Säule.....	27
2.6.1.3.4 Intraoperative Komplikationen	28
2.6.1.4 Komplikationen nach der Fixateurimplantation einschließlich Fallbeispiele.....	28
2.6.2 Perioperatives Management einschließlich postoperativer Nachsorge	34
2.6.3 Materialentfernung.....	34
2.7 Methoden	35
2.7.1 Radiometrische Parameter.....	35
2.7.1.1 Allgemein.....	35
2.7.1.2 Messungen des sagittalen Profils.....	37
2.7.1.2.1 Kyphosestellung bzw. Grund-Deckplatten-Winkel	37
2.7.1.2.2 Körperwinkel	38
2.7.1.2.3 Sagittaler oder Beckscher Index	38

2.7.1.2.4	Winkel der Zwischenwirbelräume	38
2.7.1.3	Messungen des frontalen Profils.....	38
2.7.2	Reposition bzw. operative Aufrichtung	38
2.7.3	Korrekturverlust	39
2.7.4	Klinisch-neurologischer Verlauf.....	39
2.7.5	Statistische Verfahren.....	41
3	Ergebnisse	42
3.1	Posttraumatische radiometrische Parameter	42
3.1.1	Posttraumatische Kyphose bzw. Kyphosestellung	42
3.1.2	Posttraumatischer Körperwinkel.....	43
3.1.3	Sagittaler Index oder Beckscher Index posttraumatisch.....	43
3.1.4	Posttraumatischer Winkel des Zwischenwirbelraumes	44
3.1.5	Posttraumatischer Skoliosewinkel	44
3.2	Ausmaß der operativen Korrektur	45
3.3	Repositionsverlust oder Korrekturversagen	45
3.3.1	Repositionsverlust der Kyphosestellung bzw. der Korrekturstellung.....	45
3.3.2	Repositionsverlust des Körperwinkels und des Winkels des Zwischenwirbelraumes	47
3.3.3	Das radiologische Behandlungsergebnis: Die verbleibende posttraumatische Kyphose.....	49
3.4	Präoperative Einflussgrößen auf den Korrekturverlust der Kyphosestellung	50
3.4.1	Alter und Geschlecht.....	50
3.4.2	Intraspinale Kompression durch Hinterkantenfragment	50
3.4.3	Posttraumatische Kyphose	50
3.4.4	Posttraumatischer Körperwinkel.....	51
3.4.5	Anzahl der verletzten Säulen.....	52
3.4.6	Osteoporose	52
3.5	Operative Einflussgrößen des Korrekturverlustes der Kyphosestellung	53
3.5.1	Einfluß der operativen Korrektur auf den Repositionsverlust.....	53
3.5.2	Fixationssystem.....	53
3.5.3	Ausmaß der Dekompression	54
3.5.4	Rekonstruktion der ventralen Säule	54
3.6	Klinisch-neurologischer Verlauf	56
3.6.1	Neurologischer Status.....	56
3.6.2	Schmerzen.....	56
3.6.3	Arbeitsfähigkeit.....	57
4	Diskussion	59
4.1	Epidemiologie	59
4.2	Folgen der Wirbelfraktur	61
4.3	Operative Versorgung der Wirbelfraktur	64
4.4	Fragestellung	69
4.4.1	Verlust der korrigierten Achsenstellung.....	69
4.4.2	Einflussnahme posttraumatischer Wirbelveränderungen auf den Korrekturverlust	70
4.4.3	Einfluß unfallunabhängiger Größen auf den Korrekturverlust.....	72
4.4.4	Operative Beeinflussung des Korrekturverlustes.....	72
4.5	Klinisches und soziales Resultat der Fixateur interne-Behandlung: Beschwerden, neurologischer Befund und Arbeitsfähigkeit nach der Frakturbehandlung	78
4.6	Schlussfolgerungen	80
5	Zusammenfassung	81
	Literaturverzeichnis	82

Danksagungen	91
Erklärung	92
Darstellung des Bildungsweges	93
Veröffentlichungen	95
Anhang	97

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	<i>Seite</i>
Abbildung 1: Lastverteilung, Vergleich mit einem Baukran	1
Abbildung 2: Drei-Säulen-Modell nach Denis	3
Abbildung 3: Darstellung der Zweigelenkigkeit eines Wirbelsegmentes.....	14
Abbildung 4: Geschlechtsverteilung.....	17
Abbildung 5: Alter bei Unfall	17
Abbildung 6: Unfallkategorie.....	18
Abbildung 7: Unfallursachen	18
Abbildung 8: Frakturlokalisation.....	19
Abbildung 9: Unterteilung der Frakturtypen nach der „Universal Spine Fracture Classification“ (MEYER-Klassifikation).....	21
Abbildung 10: Fixateur interne-Systeme	26
Abbildung 11: Rekonstruktion der ventralen Säule.....	28
Abbildung 12: Beispiel eines doppelten Schraubenbruches	29
Abbildung 13: Posttraumatische Wirbilveränderungen - ein Fallbeispiel.....	30
Abbildung 14: Korrekturverlust nach Reposition und Stabilisation durch einen Fixateur interne - ein Fallbeispiel.....	31
Abbildung 15: Ergebnis der Frakturbehandlung über einen ventralen Zugang nach Versagen des Fixateur interne - ein Fallbeispiel.....	31
Abbildung 16: Posttraumatische Veränderung des Wirbelkörpers - ein Fallbeispiel.....	32
Abbildung 17: Korrekturverlust nach Implantation eines Fixateur interne - ein Fallbeispiel....	33
Abbildung 18: Verlauf und Ergebnis einer Fixateur interne-Frakturbehandlung - ein Fallbeispiel.....	33
Abbildung 19: Messpunkte für Winkel des Wirbels im Zentralstrahl.....	36
Abbildung 20: Messpunkte für Winkel des Wirbels außerhalb des Zentralstrahls.....	36
Abbildung 21: Winkelbestimmung.....	37
Abbildung 22: Posttraumatische Kyphose in Abhängigkeit der Frakturtypen B und C nach der Meyer-Frakturklassifikation	42
Abbildung 23: Posttraumatischer Winkel in Abhängigkeit vom Verletzungsgrad des Wirbelkörpers nach der Meyer-Klassifikation.....	43
Abbildung 24: Darstellung Korrelation Körperwinkel und sagittaler Index	44
Abbildung 25: Zeitverlauf des Korrekturverlustes und Abhängigkeit vom Frakturtyp	46
Abbildung 26: Verlauf der posttraumatischen Kyphose bzw. der Korrekturstellung in Abhängigkeit vom Verletzungsgrad	47
Abbildung 27: Vergleich der Sinterung des Körperwinkels und des Winkels des ZWR in Abhängigkeit von Frakturtyp und Zeitpunkt.....	48
Abbildung 28: Verbleibende kyphotische Fehlstellung in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation.....	49
Abbildung 29: Einfluß der Anzahl der verletzten Säulen auf den Korrekturverlust.....	52
Abbildung 30: Korrelation Reposition und Korrekturverlust entsprechend dem Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation.....	53
Abbildung 31: Einfluß der Herkunft des autologen Knochens zur interkorporellen Fusion auf den Korrekturverlust in Abhängigkeit von der Schwere der Verletzung.....	55

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Universal Spine Fracture Classification [MEYER].....	5
Tabelle 2: Neurologisches Defizit nach Frankel und Mitarb. (1979).....	20
Tabelle 3: Intraspinale Kompression	22
Tabelle 4: Schmerzskala nach Denis	40
Tabelle 5: Arbeitsfähigkeitsskala von Denis	40
Tabelle 6: Signifikanzniveaus	41
Tabelle 7: Einfluß der posttraumatischen Kyphose auf den Korrekturverlust.....	51
Tabelle 8: Einfluß des posttraumatischen Körperwinkels auf den Korrekturverlust.....	51
Tabelle 9: Literaturvergleich Patienten und Unfallursache	60
Tabelle 10: Literaturstellen Frakturlokalisierung	61
Tabelle 11: Literaturvergleich Korrekturverlust.....	69
Tabelle 12: Patientenliste	97

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
a. p.	anterior posterior
AU	Arbeitsunfähig
Bl.	Blatt
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
ca.	cirka
CI	Konfidenzintervall
CT	Computertomographie
GDW	Grund-Deckplatten-Winkel
ggf.	gegebenenfalls
KW	Körperwinkel
lat.	lateral
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
ME	Materialentfernung
Mitarb.	Mitarbeiter
MRT	Magnetresonanztomographie
o. g.	oben genannte
PKW	Personenkraftwagen
sog.	so genannte
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
VKU	Verkehrsunfall
ZWR	Zwischenwirbelraum

1 Einleitung

1.1 Biomechanische Modelle der Wirbelsäule und Klassifikationen von Wirbelfrakturen

Es existieren verschiedene biomechanische Erklärungsmodelle der Wirbelsäule. Sie haben alle das Ziel, die auf den Wirbelkörper wirkenden Kräfte zu verstehen und Stabilitätskriterien für unterschiedliche Frakturtypen abzuleiten. Die Klassifikationen sollten helfen, einheitliche Therapien entsprechend bildmorphologischer Merkmale einschließlich der Stabilitätsbeurteilung und letztlich auch des klinischen Zustandes des Patienten zu finden und natürlich auch zu vergleichen.

1963 Holdsworth [63] führte das Zwei-Säulen-Modell ein. Die vordere Säule stellte den Lasttragenden Wirbelkörper dar, die hintere Säule wurde als hinterer Bandkomplex bezeichnet. Eine spinale Instabilität liegt laut Holdsworth vor, wenn der hintere Bandkomplex rupturiert ist.

Auch Whitesides 1977 [135] unterschied eine ventrale Säule mit Wirbelkörper und Bandscheibe von der dorsalen Säule mit dem Bogen, den Gelenken und den interspinösen Bändern, nicht jedoch das hintere Längsband. Whitesides verglich die Wirbelsäule mit einem Baukran (Abb. 1): da der Körperschwerpunkt vor der Wirbelsäule liegt, werden die vorderen Abschnitte der Wirbelsäule, wie Wirbelkörper und Bandscheibe, auf Druck belastet und müssen somit den Kompressionskräften widerstehen, die dorsalen Abschnitte mit Wirbelgelenken und interspinösen Bändern werden auf Zug belastet und widerstehen den Distraktionskräften.

Abbildung 1: Lastverteilung, Vergleich mit einem Baukran

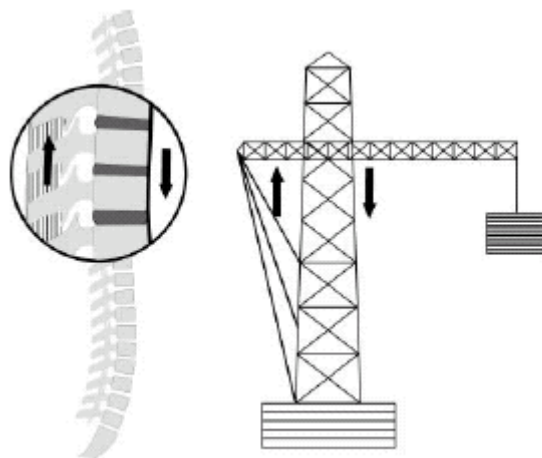


Abbildung1: Vergleich der Lastverteilung der Wirbelsäule mit einem Baukran: vordere Anteile werden auf Druck (Pfeil nach unten), hintere Anteile auf Zug (Pfeil nach oben) belastet.

Die Balancierung dieser am Bewegungssegment angreifenden Kräfte geschieht durch das sog. Tension-Band-Prinzip und Load-Sharing-Prinzip. Das bedeutet, dass eine axial eingeleitete Kraft zu 80% als Kompressionskraft in der vorderen Säule und zu 20% in den dorsalen Strukturen als Zug- und Scherkraft erscheint [135,124]. Die Rotationsstabilität wird durch die Ausrichtung der Facettengelenke und des Bandapparates gegeben. Eine stabile Fraktur sollte demzufolge nach Whitesides Kompressionskräften und Zugkräften widerstehen und eine aufrechte Körperhaltung tolerieren ohne dass eine fortschreitende Kyphose oder Beschädigung neuraler Strukturen im Spinalkanal auftritt. Instabile Frakturen können nicht folgenlos abheilen: ohne statische Stabilität sind progressive Deformitäten und neurologische Störungen unausbleiblich.

Louis [84] schlug ebenfalls im Jahr 1977 das Drei-Säulen-Modell der Wirbelsäule vor. Er unterschied die vordere Säule von den beiden hinteren Säulen der Wirbelbogengelenke. Die statische Betrachtung einer Fraktur als eine Folge momentaner Krafteinwirkung wurde durch eine dynamischere Sichtweise ergänzt - die längere Krafteinwirkungszeit. Es wurde eine temporäre Instabilität, bedingt durch die knöcherne Läsion, von der andauernden Instabilität, bedingt durch eine diskoligamentäre Verletzung, unterschieden.

Roy Camille [117,115] maß dem mittleren Wirbelsäulensegment, dem sog. „segment moyen,, für die Instabilität einer Wirbelkörperfraktur große Bedeutung zu. In diesem mittleren Wirbelsäulensegment werden alle Strukturen mit einbezogen, die den Spinalkanal direkt umgeben, dass heißt Hinterkante des Wirbelkörpers, hinteres Längsband, Bogen mit Bogenwurzel und Facettengelenke. Bei Verletzung der genannten Strukturen besteht eine hohe Anfälligkeit für Dislokation, progressive Deformation und neurologische Komplikationen.

Denis [30,31] engte in seinem Drei-Säulen-Konzept der Wirbelsäule (Abb. 2) die mittlere Säule auf die Wirbelkörperhinterwand, das hintere Längsband und den hinteren Teil der Bandscheibe sowie die Bogenwurzeln ein. In Abgrenzung zur mittleren Säule bestand die hintere Säule aus Wirbelbogengelenk und dorsalem Bandkomplex. Die vordere Säule setzt sich aus dem ventralen Abschnitt des Wirbelkörpers und dem vorderen Teil der Bandscheibe sowie dem vorderen Längsband zusammen.

Einleitung

Abbildung 2: Drei-Säulen-Modell nach Denis

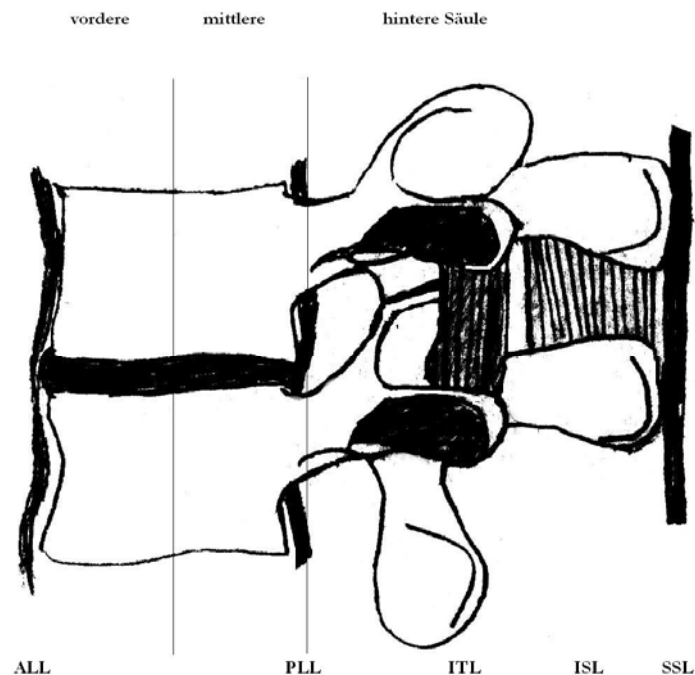


Abb. 2: Darstellung des Drei-Säulen-Modells der Wirbelsäule nach Denis. Die vordere Säule setzt sich aus dem vorderen Längsband (ALL), der vorderen Hälfte des Wirbelkörpers und der vorderen Hälfte der Bandscheibe zusammen. Die mittlere Säule besteht aus der hinteren Hälfte des Wirbelkörpers einschließlich der Bogenwurzeln, der hinteren Hälfte der Bandscheibe und des hinteren Längsbandes (PLL). Die hintere Säule ist zusammengesetzt aus dem Wirbelbogen mit Gelenk- u. Querfortsatz, dem Dornfortsatz, dem Ligamentum flavum, dem Ligamentum intertransversus (ITL), dem Ligamentum interspinosus (ISL) und supraspinosus (SSL) und den Gelenkkapseln.

Es werden 4 Frakturkategorien unterschieden. Bei der *Kompressionsfraktur* kommt es durch Kompressionskräfte zu einer Verletzung der ventralen Säule. Die mittlere Säule ist intakt und dient als Drehpunkt, die hintere Säule ist, bedingt durch die vermehrten Zugkräfte, teilweise beschädigt. Bei intakter Hinterkante des Wirbelkörpers besteht keine Gefahr der intraspinalen Kompression. Die *Berstungsfraktur* ist definiert durch die Verletzung der vorderen und mittleren Säule im Bereich der Deck- oder/ und Grundplatte. Es kommt zu einer Verlagerung der Hinterkante des Wirbelkörpers in den Spinalkanal mit Kompression neuraler Strukturen.

Denis unterteilt die *Berstungsfrakturen* in weitere 5 Subtypen: *Typ A* zeigt infolge einer reinen axialen schädigenden Krafteinleitung auf die Wirbelsäule eine Beteiligung beider Endplatten des Wirbels. Beim *Typ B* bewirkt eine Kombination axialer und flektierender Kräfte eine alleinige Beteiligung der Deckplatte. *Typ C* ist definiert durch die Verletzung der Grundplatte des Wirbels. Bei *Typ D*

Frakturen wirken neben axialen auch rotatorische Kräfte, *Typ E* entsteht durch seitliche Neigungskräfte neben den axialen Kräften.

Die nächste Frakturkategorie von Denis ist die *Gurtverletzung*. Durch eine Flexion mit Drehpunkt in der vorderen Säule tritt eine Verletzung der mittleren und hinteren Säule ein, ggf. zeigt auch der ventrale Anteil der vorderen Säule Verletzungszeichen. Da Teile der vorderen Säule intakt bleiben, ist dieser Verletzungstyp trotz Instabilität bei der Flexion nicht mit einer Dislokation oder Subluxation assoziiert. Die instabilste Frakturkategorie ist die *Frakturdislokation* mit Beteiligung aller Anteile des Wirbels. Es werden 3 Subtypen nach dem Unfallmechanismus *Flexion-Rotation*, *Scherkraft* und der *Flexion-Distraktion* klassifiziert.

Denis unterteilt die posttraumatische Instabilität in 3 Grade: Grad 1 Instabilität beinhaltet mechanisch das Risiko der chronischen Kyphose. Grad 2 Instabilität ruft mit intraspinaler Einengung durch die luxierte Hinterkante in der frühen posttraumatischen Phase und posttraumatischer Spinalkanalstenose nach der Frakturheilung neurologische Komplikationen hervor. Grad 3 Instabilität: Kombination Grad 1 und 2 der Instabilität. Insgesamt muss von einer Instabilität laut Denis ausgegangen werden, wenn die Hinterkante des Wirbelkörpers (mittlere Säule) verletzt ist und/ oder 2 Säulen an der Fraktur beteiligt sind. Im Gegensatz dazu sieht McAfee et al. [92] eher die Verletzung der hinteren Säule mit deren Bandstrukturen als ein Instabilitätskriterium, im Weiteren eine posttraumatische Kyphose von 20°.

Die AO-Klassifikation nach Magerl [86] ist in Anlehnung an das Zwei-Säulen-Konzept von Whitesides [135] gestaltet und die in Europa im klinischen Gebrauch am häufigsten angewendete Frakturklassifikation. Diese Klassifikation basiert auf der Analyse von 1445 schweren Wirbelkörperfrakturen. Es werden 3 Typen nach der Pathomorphologie Kompression (Typ A), Distraktion (Typ B) und Rotation (Typ C) unterschieden. Es erfolgt zudem eine Unterteilung in Subtypen erster und zweiter Ordnung, dabei nimmt die Schwere der Verletzung von Typ A bis Typ C und innerhalb der Subtypen jeweils von 1-3 zu. Es können damit 55 verschiedene Frakturtypen unterschieden werden. Die Bedeutung einer Klassifikation für die klinische Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit hängt aber im hohen Maße von der Reliabilität und Reproduzierbarkeit, der sog. Interobserverreliabilität ab [18]. Einteilungen ohne eine entsprechend gute Reproduzierbarkeit können zu widersprüchlichen und verwirrenden klinischen Ergebnissen führen [18]. In Arbeiten von Blauth et al. [11], Wood et al. [140] und Oner et al. [105] wird eine zu geringe Interobserverreliabilität der Magerl AO-Klassifikation aufgezeigt. Eine Klassifikation im Allgemeinen versucht alle verwertbaren Informationen in reproduzierbare Kategorien ohne einen Informationsverlust einzuteilen. Dabei ist es unvermeidlich, dass eine detailgetreue Klassifikation wie die Magerl AO-Klassifikation mit vielen Informationen die Reproduzierbarkeit herabsetzt. Eine

Einleitung

Vereinfachung der Einteilung und damit verbunden einer höheren Reproduzierbarkeit kann aber mit einem Informationsverlust verbunden sein [105, 11].

Die American Spine Injury Association (ASIA) entwickelte mit der „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer eine einfach anzuwendende Wirbelfraktureklassifikation mit dem Ziel, die Kommunikation zwischen Ärzten jeglicher Fachrichtung über Wirbelfrakturen und die Vergleichbarkeit verschiedener Behandlungsmethoden durch eine Frakturklassifikation mit hoher Reproduzierbarkeit zu ermöglichen [97]. Zur Klassifikation werden 5 Kriterien herangezogen:

1. Anzahl der verletzten Säulen
2. Ausmaß der Translation
3. Ausmaß der Angulation (Kippung)
4. Spinalkanaleinengung
5. Verlust der ventralen Höhe

Es werden 3 Frakturtypen (Tabelle 1) unterschieden, auf die Pathogenese wird dabei nicht eingegangen.

Tabelle 1: Universal Spine Fracture Classification [MEYER]

Typ A	Verletzung nur einer Säule des Wirbelkörpers Keine Translation oder Angulation
Typ B	Verletzung von 2 Säulen des Wirbelkörpers <u>oder</u> Translation, aber kleiner als 25% der Norm <u>oder</u> Angulation (Kippung), aber kleiner oder gleich 11° zervikal, < 40° thorakal und < 25° des thorakolumbalen Überganges und lumbal
Typ C	Verletzung aller 3 Säulen des Wirbelkörpers <u>oder</u> Signifikante Translation <u>oder</u> Angulation über die bei Typ B genannten Werte
Bemerkung	weder die Einengung des Spinalkanals noch der Verlust der ventralen Wirbelkörperhöhe werden direkt zur Bestimmung des Frakturtyp herangezogen; sie werden aber erfasst zur Korrelation anderer mit dem Unfall in Beziehung stehender Faktoren wie z.B. neurologische Defizite, Stabilität, etc...

1.2 Das Auftreten und die Folgen einer thorakolumbalen oder lumbalen Wirbelfraktur

Der thorakolumbale Übergangsbereich ist besonders anfällig für Frakturen. In einer Untersuchung von Jöllenbeck et al. [67] konnte gezeigt werden, dass von 311 Verletzungen der gesamten Wirbelsäule, welche vom August 1994 bis Dezember 1998 in der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg stationär behandelt wurden, Frakturen des thorakolumbalen Überganges mit 49,5% am häufigsten auftraten, zusammen mit der Lendenwirbelsäule ist es im thorakolumbalen Bereich und der Lendenwirbelsäule in 61,7% der behandelten Fälle zu einer Fraktur gekommen.

Die Anfälligkeit der thorakolumbalen Wirbelsäule für Verletzungen ist die Folge der anatomisch bedingten Vulnerabilität der Wirbelsäule in diesem Bereich durch den Übergang der durch die Thoraxapertur relativ unbeweglichen Kyphose der BWS und der flexiblen Lordose der Lumbalregion sowie der Kräfte, welche bei Unfällen in der modernen mechanisierten Gesellschaft gehäuft auftreten. In den USA erleiden jährlich über 50000 Menschen eine Fraktur im thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäulenbereich, in 5000 Fällen ist eine Paraplegie die unmittelbare Folge [58]. In Deutschland kommt es jährlich in bis zu 8000 Fällen zu schwerwiegenden Wirbelsäulenverletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule [68].

Bei Verletzungen der ventralen Säule des Wirbelkörpers, in welche zu 80% die axiale Belastung als Druckkräfte geleitet werden [135], kann es zu einer Wirbelinstabilität kommen. James et al. [66] haben 1994 gezeigt, dass die Flexionsstabilität eines Wirbelsäulensegmentes zu etwa 60% von der Integrität der vorderen Säule abhängt. In der Literatur existieren viele Definitionen der Wirbelkörperinstabilität. Einige wurden bereits im vorherigen Abschnitt dieser Arbeit erläutert. White und Panjabi [107] definieren Stabilität als Fähigkeit der Wirbelsäule, die physiologische Last zu halten ohne ein zusätzliches neurologisches Defizit, einer progressiven Deformität oder einen einschränkenden Schmerz. Bei Verlust der Tragfähigkeit der ventralen Säule kommt es zu einer Sinterung der Wirbelkörpervorderkante mit konsekutiver Achsabweichung im sagittalen Profil, der sog. posttraumatischen Kyphose, unterstützt dadurch, dass im Gegensatz zur zervikalen und lumbalen Wirbelsäule der thorakolumbale Bereich keine signifikante Lordorsierung zulässt. Die Ursachen der Beschwerden bei bestehender posttraumatischer Kyphose werden einerseits in der Instabilität der verletzten Bandscheibe inklusive diskogener Schmerzen gesehen [15,33,60]. Andererseits führt die Inkongruenz der Wirbelgelenke mit sekundärer Spondyloarthrose zur Dekompensation der Nachbargelenke [135,124]. Auch die Rehabilitation wird durch eine posttraumatische Kyphosierung behindert, da eine schmerzhafte Kyphose die geeignete Rückenlage, Sitzposition und die Haltung im Stehen behindert. Kyphosebedingte Druckstellen werden wahrscheinlicher. Eine Myelopathie oder Syringomyelie kann auch Folge einer

traumatischen Kyphose mit folgendem neurologischen Defizit sein [135,52,55,92,33,60]. Denis et al. zeigten in einer Untersuchung 1984 [29], dass es in 17-20% einer thorakolumbalen Berstungsfraktur zu einem sekundären neurologischen Defizit kommt, ähnliches wurde von Gertzbein 1994 [55] berichtet. Harms et Stolze [60] unterscheiden zwischen einem vertebralem und neuropathischen Schmerz als Folge der verbleibenden Deformität. Zum vertebralem Schmerz kommt es durch die Dekompensation muskulärer und ligamentärer Strukturen bei Fehlstellungen der Wirbelsäule sowie bis zum bereits genannten Facettensyndrom angrenzender Wirbelsäulenabschnitte durch eine kompensatorische Hyperlordose zum Ausgleich der posttraumatischen Kyphose. Der neuropathische Schmerz resultiert aus der Druckschädigung von Rückenmarkfasern, ist häufig mit einer Missempfindung vergesellschaftet und kann radikulär in die Beine ausstrahlen, gürtelförmig auftreten und auch viszerale Beschwerden hervorrufen.

Aufgrund der Wirbelkörperinstabilität mit Ausbildung der posttraumatischen Kyphose kommt es durch die folgende höhere dorsale Zugbelastung entsprechend des Load-Sharing-Systems [135] auch zur Zerreißung der dorsalen Bandstrukturen und Zerstörung der Bandscheibe, meist der oberen [46,44,25,81,82,45,130].

Bei einer Frakturbeteiligung der Hinterkante der mittleren Säule des Wirbelkörpers kann es durch eine Verlagerung der Hinterkante zu einer intraspinalen Kompression mit möglichem neurologischen Defizit kommen, wobei es eine Korrelation zwischen dem Stenosierungsgrad des thorakolumbalen und lumbalen Spinalkanals und einem neurologischen Defizit nicht zu geben scheint [13,40].

1.3 Behandlung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Bereiches und der Lendenwirbelsäule

1.3.1 Konservative Wirbelbruchbehandlung

Die erste Beschreibung der Behandlung eines frakturierten Halswirbels mit begleitender Paralyse fand man im Papyrus Edwin Smith, Ägypten, ca. 1550 vor Christus. Die Therapie bestand aus Bettruhe mit Anwendungen von Bandagen und Wundverbänden. Die Behandlung wurde von Priestern durchgeführt, welche hoch spezialisierte Kenntnisse über Organsysteme und deren Behandlungen hatten [28]. Eine geschlossene Reposition von Wirbelbrüchen ohne eine Lähmung zum Entgegenwirken einer Kyphose beschrieb Hippokrates, 460-377 vor Christus [125], in Bauchlage wurden die Patienten gestreckt, der Therapeut setzte sich dann auf den Rücken des Patienten. Aufzeichnungen, wie das Repositionsergebnis gehalten wurde, existieren dagegen nicht. Entsprechend der damaligen Zeit gab es anfänglich die rein konservative Behandlung. Auch ist davon auszugehen, dass vor Einführung der Röntgendiagnostik viele stabile Wirbelkörperfrakturen unentdeckt blieben und somit keine spezielle Therapie erfuhren [111].

Konservative Therapieformen waren in der Vergangenheit mit längerer Bettruhe verknüpft. Anfang des 20. Jahrhunderts wurden sie durch aktivere Behandlungsformen ersetzt. 1929 setzte sich Magnus [90] für die frühfunktionelle Behandlung ohne Reposition und Retention ein, die jedoch immer noch mit einer 6wöchigen Bettruhe einherging. Im Gegensatz dazu stand die Wirbelbruchbehandlung von Lorenz Böhler (1930) [16]. Diese Behandlung [17] bestand aus einer Reposition über den dorsalen Durchhang mit Längszug und Lordorsierung und einer anschließender Retention im Gipsmieder. Eine Sofortbelastung war danach möglich. Allerdings kam es bei der Böhler'schen Methode immer wieder zu einem sekundären Verlust der erreichten Korrekturstellung [6,102,138]. Andere Arbeiten [20,141] zeigten, dass das Repositionsergebnis mittels Gipsmieder aufrechterhalten werden kann.

Auch die aktuell gängige konservative Therapie von stabilen Frakturen der thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäule besteht aus einer Kombination zwischen anfänglicher kurzzeitiger Bettruhe, eventueller geschlossener Reposition und Mobilisation, häufig mit einem Korsett [127].

1.3.2 Operative Wirbelbruchbehandlung

Im 7. Jahrhundert schlug Paulus von Aegina als erster konkret eine operative Therapie der verletzten Wirbelsäule vor. Er empfahl, bei Frakturen mit einer Lähmung das irritierende

Knochenfragment zu entfernen. Es ist belegt, dass er diesen Eingriff selbst durchgeführt hat [17,112].

Mit der Entwicklung der Bandscheibenchirurgie in den 30iger Jahren etablierte sich die Laminektomie, welche auch bei der Behandlung von Wirbelkörperbrüchen mit neurologischem Defizit eingesetzt wurde, die Dekompression brachte jedoch häufig nicht den gewünschten Effekt [111]. Eine Analyse von Guttman in den 40iger Jahren [59] zeigte sogar, dass eine Laminektomie bei querschnittsgelähmten Patienten die Rehabilitation eindeutig verzögert und erschwert. Damit dominierte jahrzehntelang das konservative Therapieschema, da suffiziente Operationsmethoden fehlten.

Seit der Einführung von Harrington-Stäben 1962 [61], der Roy Camille-Platte 1970 [116], der Jacobs [65]- und Luque [85]- Stäbe entwickelte sich ein Trend zur Operation. Damit war eine Reposition und Stabilisierung sicherer und exakter möglich als bei der geschlossenen Aufrichtung nach Böhler [17]. Auch war eine Distraction und damit gefahrlose Reposition instabiler Brüche durchführbar [111]. Häufig war eine Frühmobilisation nach der Operation trotzdem nicht möglich, da dislozierte Haken, gebrochene Stäbe und ein Repositionsverlust nicht ungewöhnlich waren [23,53,122]. Ein weiterer wesentlicher Nachteil der genannten Implantate war die durch ihre biomechanische Wirkungsweise bedingte Zwei-Punkt-Fixation auf jeder Seite der Fraktur. Jacobs [65] schlug sogar eine Drei-Punkt-Fixation vor: Je weiter die Punkte auseinander liegen, desto größer ist die erreichte Stabilität. Daher müssen 2-3 Wirbelbögen ober- und unterhalb in die Stabilisation mit einbezogen werden, eine Versteifung von 5-7 Wirbeln ist die Folge. Diese lange Versteifungsstrecke brachte naturgemäß Probleme mit sich. Bei querschnittsgelähmten Patienten bewirkte der Verlust der Lendenlordose erhebliche Einschränkungen des Rehabilitationserfolges [8]. Beim nichtgelähmten Patienten wurde die verminderte Lordose zwar kompensiert, es traten jedoch erhebliche Funktionsstörungen auf. Auch die spätere Materialentfernung löste nicht das Problem [64], da häufig die Beweglichkeit der ursprünglich nicht verletzten Bewegungssegmente nicht wiedererlangt wurde.

Um diese biomechanisch bedingten Nachteile zu mindern, wurden dann die sog. Kurzstreckenfixationssysteme angewandt: Abgeleitet aus der Extremitätenchirurgie entwickelte Magerl 1977 [88] den Fixateur externe. Dabei wurde die von Roy Camille bekannte feste Verankerungsmöglichkeit von Schrauben im Pedikel zur Verbindung an einen äußeren Rahmenspanner genutzt. Der Durchbruch gelang aber erst Kluger [70] 1982 und Dick [35] 1983. Beide entwickelten gleichzeitig und unabhängig voneinander ein unter die Haut versenkbares Kurzstreckenfixationssystem, den Fixateur interne. Das Prinzip lag in der winkelstabilen

Verbindung der transpedikulären Verankerung. Da die Verankerung sich auf den oberen und unteren Nachbarwirbel beschränkte, wurde nur eine kurze Strecke überbrückt. Durch einen abtrennbaren langen Hebelarm an der Pedikelschraube konnte in alle Richtungen die Achse korrigiert werden. Der Operationsaufwand war dabei begrenzt.

1981 führte Daniaux [26] die transpedikuläre Reposition und Spongiosaplastik ein. Zu einem gelang es Daniaux, den Wirbelkörper von innen her über einen Kanal in der Bogenwurzel direkt zu reponieren und zum anderen anschließend die durch die Fraktur bzw. instrumentelle Reposition entstandene Höhle mit autologer Spongiosa aufzufüllen.

Von Harms [60] wird das kombinierte dorso-ventrale Verfahren favorisiert. Der ventrale Zugang bietet die Möglichkeit der vollständigen Dekompression des Spinalkanals und der optimalen Rekonstruktion der vorderen Säule durch Interposition eines autologen Knochenspanns oder eines z.B. mit Spongiosa gefüllten Titancages. In Kombination mit einer dorsalen, winkelstabilen Instrumentation kann so unter biomechanischen Aspekten die physiologische Lastverteilung mit ventralen Druck- und dorsalen Zugkräften optimal neutralisiert werden [134].

Beim alleinigen ventralen Vorgehen besteht die Möglichkeit, den ventralen Defekt zu rekonstruieren; jedoch sollte die hintere Säule intakt sein [44]. Nach ventraler Entfernung des Wirbelkörpers mit spinaler Dekompression wird ein Knochenspann mit einer Platte fixiert oder ein Titancage eingebracht entsprechend der kombinierten Verfahren. Beim einseitigen ventralen Vorgehen kommt es jedoch wie beim rein dorsalen Eingriff zum Korrekturverlust [9].

In klinischer Erprobung befindet sich derzeit die Kombination der dorsalen Stabilisation durch einen Fixateur interne mit einer transpedikulären Ballon-assistierten-Endplatten-Reposition, gefolgt von einer Vertebroplastie mit Calciumphosphatzement. Bei alleiniger dorsaler Stabilisierung ist die Rekonstruktion der beschädigten ventralen Säule meist insuffizient, häufig bedingt durch den Einbruch von Bandscheibengewebe in den Wirbelkörper bei einem Defekt der Endplatte [104,128].

Eine Übersichtsarbeit von Verlaan et al. [129], in der 132 Veröffentlichungen mit insgesamt 5748 Patienten bezüglich verschiedener operativer Techniken zur Versorgung von thorakolumbalen und lumbalen Frakturen und deren klinischen, funktionellen und radiologischen Ergebnissen verglichen werden zeigte, dass keine Operationsmethode die operativ erreichte Korrekturstellung halten konnte, dass aber das funktionelle Ergebnis besser war als erwartet und dass Komplikationen selten auftraten.

1.3.3 *Konservative versus operative Therapie*

Die geeignete Therapie muss die individuelle Situation jedes Patienten, den Unfallmechanismus, die Wirbelkörperstabilität, die Begleitverletzungen, die Möglichkeiten der neurologischen Erholung sowie den Patientenwunsch berücksichtigen. Die modernen Therapieverfahren reichen von Bettruhe, geschlossener Reposition und Anlage eines Korsetts bis hin zur Operation mit dorsaler, lateraler, ventraler oder kombinierten Stabilisationsverfahren bzw. Fusionsoperationen einschließlich eines Wirbelkörperersatzes. Da es keine kontrollierte, randomisierte, prospektive Untersuchung der verschiedenen chirurgischen und konservativen Behandlungsmethoden von Frakturen gibt, wird die optimale Therapie weiterhin kontrovers diskutiert [127,129]

In einer prospektiven randomisierten Multizenterstudie von Siebenga, Leferink et al. [120] konnte klar gezeigt werden, dass die operative Therapie von Wirbelfrakturen mit dorsaler Reposition und Stabilisation der konservativen Therapie bezüglich radiologischer und funktioneller Ergebnisse wie Schmerz, alltäglicher Verrichtungen und der Arbeitsfähigkeit deutlich überlegen ist. Die Prävalenz der Komplikationen unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Behandlungsgruppen. In der bereits genannten aktuellen Übersichtsarbeit von Verlaan et al. [129] mit insgesamt 5748 eingeschlossenen Patienten konnte ebenfalls klar gezeigt werden, dass die chirurgische Behandlung von Wirbelfrakturen sicher und effizient ist.

Untersuchungen [95,113,38] zeigen, dass mit einer Operation der Krankenhausaufenthalt verkürzt wird, die Behandlungskosten reduziert, die Rehabilitation beschleunigt und damit auch die Funktion optimiert werden. Die modernen Stabilisationsverfahren einschließlich der Implantate haben eine niedrige Versagensquote und eine hohe knöcherne Ausheilungsrate [113,21,109].

Nicht jede Fraktur bedarf einer operativen Intervention. Wenn vergleichbare Behandlungserfolge erzielt werden können, sollte ein konservatives Vorgehen Therapie der Wahl sein, da es ein geringeres Risiko hat. In einer Arbeit von Reinhold et al. 2003 [114] werden die 2 derzeit häufigsten konservativen Behandlungsverfahren von thorakolumbalen Wirbelbrüchen gegenübergestellt. Als konkurrierende Therapien steht die alleinige funktionelle Therapie ohne Reposition und äußere Ruhigstellung nach Magnus [89] der Behandlung nach Böhler [17] mit Reposition und Redression im Gipsmieder mit nachfolgender Mobilisation gegenüber. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug ca. 16 Jahre. Im Durchschnitt nahm die posttraumatische Kyphosierung um 5,2° gegenüber der direkt nach dem Unfall aufgetretenen Kyphose zu, wobei zwischen den beiden Behandlungsmethoden kein Unterschied bestand. Nach Reposition kam es dementsprechend zu einem höheren Korrekturverlust. Die Untersuchung zeigte damit, dass durch keine hier dargestellte konservative Therapieform die progressive kyphotische Fehlstellung zu vermeiden war und es

damit als Hinweis gewertet werden muss, dass thorakolumbale Berstungsfrakturen potentiell instabil sind, da die Wirbelsäule die physiologische Last nicht ohne eine progressive Kyphosierung tragen kann.

Eine Operation wird häufig dann als sinnvoll erachtet, wenn eine bessere anatomische Form erreicht und gehalten werden kann als eine konservative Therapieform [35]. Watson-Jones schrieb bereits 1944 [131], dass eine perfekte Heilung nur dann möglich ist, wenn eine perfekte Wirbelausrichtung erreicht worden ist oder besteht, eine leichte Abweichung von der optimalen Wirbelkörperstellung kann einen therapieresistenten Schmerz verursachen. Im Gegensatz dazu schrieb Nicoll [101], dass ein gutes funktionelles Ergebnis unabhängig ist vom anatomischen Resultat im Sinne einer traumatisch bedingten Kyphose. Zu diesem Schluß kommt auch Mumford et al. [99]. In dieser prospektiven Studie wurden 41 neurologisch unauffällige Patienten mit einer Wirbelkörperfraktur mit Verlagerung der Hinterkante in den Spinalkanal im thorakolumbalen Bereich und der Lendenwirbelsäule eingeschlossen. Es wurde mit einer strikten Bettruhe von durchschnittlich $28,5 \pm 13,6$ Tagen und folgender Mobilisierung mit angelegtem Korsett für durchschnittlich $11,9 \pm 6,1$ Wochen therapiert. Zum Unfallzeitpunkt zeigte sich im Durchschnitt eine 37%-ige Kompression des Spinalkanals, 26 Patienten hatten mindestens einen zu 30% eingengten Kanal. Die Beobachtungszeit lag bei ungefähr 2 Jahren. Nach der konservativen Therapie zeigten 49% der Patienten ein exzellentes Ergebnis bezüglich Schmerz und Funktion, 17% ein gutes, 22% ein mäßiges und 12% ein schlechtes Ergebnis. 81% der Patienten, die vor dem Unfall einen Beruf ausübten, hatten im 2 Jahres-Verlauf eine zufrieden stellende Wiedereingliederung in das Berufsleben erlangt, 53% davon im selben Beruf mit unveränderter Belastung, 23% mit geminderter Belastung, aber im gleichen Beruf. Im Gegensatz zu den eben genannten guten klinischen Ergebnissen kam es zu einer progressiven Minderung der ventralen Wirbelkörperhöhe des frakturierten Wirbels, im Durchschnitt 8 %. Auch die traumatische Kyphose zeigte, in Abhängigkeit der segmentalen Höhe, eine signifikante Zunahme, BWK11-BWK12 7° , LWK1-LWK2 ca. 5° ; LWK3-LWK5 zeigten stabile Verhältnisse ohne signifikante Sinterung. Die Einengung des Spinalkanals durch das Frakturfragment der Hinterkante zeigte dagegen in den CT-Verlaufsserien eine signifikante Abnahme von ca. 22%, in keinem kam es zu einer Zunahme der Spinalkanalkompression. Auch andere Autoren [19,99,133] sehen keinen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der posttraumatischen Kyphose und der Beschwerden. Dabei handelt es sich meist aber, wie auch in der eben ausführlich beschriebenen Studie, um Kurzzzeitergebnisse.

Langzeituntersuchungen von Böhler [14] und Trojan [126] konnten dagegen nachweisen, dass eine Kyphose von über 15° nach 10 Jahren zu immer wiederkehrenden Rückenbeschwerden führt. McLain und Kollegen fanden in einer Untersuchung 1993 [96] heraus, dass es bereits bei Kyphosen

von 10° und mehr im Langzeitverlauf nach Stabilisierungsoperation zu Rückenbeschwerden kommt.

Einen so genannten Goldstandard in der Behandlung von Wirbelkörperfrakturen gibt es nicht [12,73,68,75]. Das Behandlungsziel dagegen ist klar und einheitlich: 1. Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule zur Schmerzminimierung und Vermeidung einer späteren Deformität. 2. Maximierung der neurologischen Funktion mit frühest möglicher Mobilisation und Rehabilitation, um eine optimale Langzeit-Lebensqualität wiederzuerlangen. Zum Erreichen dieser Ziele werden dagegen verschiedene Wege kontrovers diskutiert; die Ursachen dafür sieht Dürr [39] in unterschiedlichen Auffassungen der Entsprechung oder Diskrepanz von Anatomie und Spätfolgen, der Einschätzung des Behandlungsrisikos, der Akzeptanz durch den Patienten, der individuellen Erfahrung des Arztes sowie der Wertung der Stabilität und Funktion.

Die normale Form, Statik und Stabilität der Wirbelsäule einschließlich des Spinalkanals nach einem Unfall wiederzuerlangen, ist mit Sicherheit langfristig gesehen das beste Behandlungsziel, besonders bei jüngeren Patienten.

1.4 Veränderung der Biomechanik der Wirbelsäule durch den Fixateur interne

Das Wirbelsegment ist funktionell ein zweigelenkiges System, durch die elastische Verformbarkeit der Bandscheibe einerseits und der Beweglichkeit der Wirbelgelenke andererseits (siehe Kreuze in der Abbildung 3) kommt es zur segmentalen physiologischen Mobilität. Durch die einseitige, im Falle des Fixateur interne rein dorsale, Stabilisation einer Wirbelfraktur führt die Nichtbeachtung der Zweigelenkigkeit zur vorderen Restbeweglichkeit bzw. Restinstabilität [124]. Auch Beck und Böhler [5] betonen, dass die Heilung der Wirbelbrüche nur durch eine Stabilisierung bzw. Blockbildung über die verletzte Bandscheibe erfolgen kann.

Abbildung 3: Darstellung der Zweigelenkigkeit eines Wirbelsegmentes

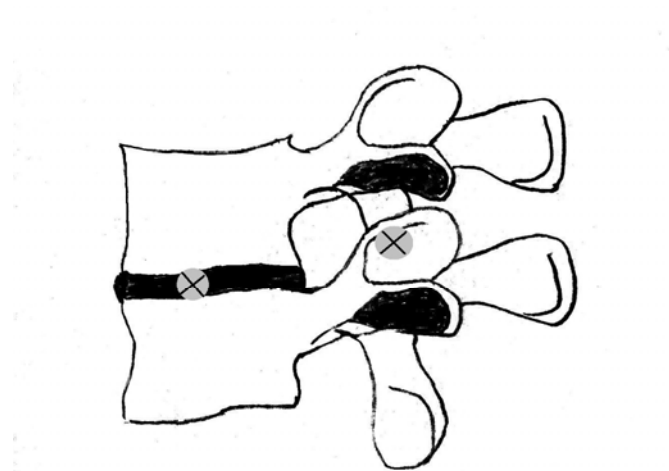


Abb. 3: Darstellung eines Wirbelssegmentes als funktionell zweigelenkiges System. Im Bereich der elastisch verformbaren Bandscheibe und im Wirbelgelenk befinden sich die Drehachsen (Kreuze) des zweigelenkigen Wirbelssegmentes.

Des weiteren kann es durch die dorsale Aufrichtung im Rahmen der Implantation des Fixateur interne zu einer Verstärkung des ventralen Defekts kommen; um Stabilität und Tragfähigkeit zu erlangen, ist eine suffiziente Rekonstruktion der ventralen Säule erforderlich [132].

Die Ursache von Materialverbiegungen, Materiallockerungen oder Materialbrüchen wird in der Umkehrung der Lastverteilung durch die alleinige dorsale Reposition und Stabilisierung gesehen. Mathias und Biedermann [102] konnten in einer biomechanischen Analyse nachweisen, dass nach einer dorsalen Instrumentation 90% der axial in die Wirbelsäule eingeleiteten Kräfte dorsal innerhalb der Instrumentation erscheinen. Damit kommt es zu einer Wechsel-Biege-Belastung der Instrumentation mit dem beschriebenen möglichen Materialversagen.

1.5 Fragestellung: Wann ist der Fixateur interne ausreichend?

Frische instabile Frakturen und /oder Frakturen mit starken Achsabweichungen werden häufig operativ versorgt [36,42,26,82]. Kontrovers wird die Form der Reposition und Stabilisation diskutiert: Sollte nur von dorsal, von dorsal und lateral, nur von ventral oder dorso-ventral stabilisiert werden?

Die Implantation eines Fixateur interne mit der dorsalen Reposition und Stabilisation zur Versorgung einer instabilen Wirbelkörperfraktur des thorakolumbalen Bereiches ist im Vergleich zur kombinierten ventralen bzw. lateralen Fixation ein einfaches Verfahren mit deutlich niedrigerer Morbidität [36,77]. Jedoch kann es nach Implantation des Fixateur interne im unterschiedlichen Ausmaße zur Minderung der erreichten Korrekturstellung kommen, zum so genannten Repositionsverlust. Die bisherigen zahlreichen Untersuchungen zur Fixateur interne-Behandlung von Frakturen der thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäule zeigen in den meisten Fällen einen mehr oder weniger deutlichen Korrekturverlust. Eine Korrelation einer Frakturklassifikation oder Verletzungsform des Wirbels mit dem Korrekturverlust fand sich aber bisher in keiner Mitteilung; eine Vorhersage zum eventuellen postoperativen Repositionsverlust wäre aber zur Planung eines dorsalen bzw. kombinierten Verfahrens äußerst sinnvoll.

Die vorliegende Nachuntersuchung soll den Langzeitverlauf des Korrekturverlustes nach dorsaler Instrumentation in Abhängigkeit einfach zu bestimmender posttraumatischer Wirbelveränderungen darstellen, um damit für die Therapieplanung bereits präoperativ eine Aussage über den Behandlungserfolg bezüglich der wahrscheinlich verbleibenden posttraumatischen Veränderungen geben zu können. Es sollen auch Erkenntnisse über den Zeitverlauf und den genauen Ort der Sinterung der Korrekturstellung gewonnen werden. Dabei wird auch auf den Nutzen einer interkorporellen Fusion über den dorsalen Zugang als Versuch zur Rekonstruktion der ventralen Säule eingegangen.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patienten

In dem Zeitraum zwischen Januar 1995 bis Dezember 2001 wurden in der Klinik für Neurochirurgie der Universität Magdeburg 147 Patienten mit einer *instabilen monosegmentalen traumatischen Wirbelkörperfraktur* des *thorakolumbalen Überganges* und der *Lendenwirbelsäule* über ein rein dorsales Verfahren mittels *Fixateur interne bisegmental* operiert. Die für die retrospektive Untersuchung der Verläufe dieser Patienten erforderlichen Röntgen- und CT-Aufnahmen des genannten Zeitraumes lagen jedoch nur von 75 Patienten vollständig vor. Bei der Verlegung der Patienten nach der operativen Versorgung der Wirbelkörperfraktur in eine Rehabilitationseinrichtung oder bei der Entlassung der Patienten waren Röntgen- oder CT-Aufnahmen dem Patienten zur Nachbehandlung mitgegeben bzw. Fremdaufnahmen, welche die primärversorgenden Einrichtungen angefertigt hatten, wieder zurückgesandt worden. Um die Bildgebung von den Patienten im Rahmen der hier vorliegenden Nachuntersuchung vollständig zu beurteilen, wurden die erstversorgenden Einrichtungen, die nachbehandelnden Rehabilitationseinrichtungen und die Hausärzte sowie die Patienten angeschrieben mit der Bitte, die erforderlichen Röntgen- und CT-Aufnahmen an die Klinik für Neurochirurgie der Universität Magdeburg zurückzusenden. Bei negativer oder fehlender Antwort wurden die Bilder telefonisch angefordert. Leider war auch daraufhin die bildgebende Diagnostik eines Großteils der Patienten nicht auffindbar, bzw. stand der retrospektiven Analyse nicht zur Verfügung. Um die Fallzahl für eine bessere statistische Auswertbarkeit zu erhöhen, wurden 39 Patienten, welche zwischen September 2003 bis Dezember 2004 an einer instabilen monosegmentalen Wirbelfraktur des thorakolumbalen Überganges und der LWS operiert worden waren, zusätzlich in die Untersuchung eingeschlossen. Die Operationsmethode und die Operationsindikation zwischen 1995 bis 2004 sind identisch. Es wurde der Zeitraum ab September 2003 gewählt, da seit diesem Zeitpunkt die gesamte Bildgebung der Universitätsklinik Magdeburg digital im Chili ®/Web gespeichert wurde und daher für die vorliegende Untersuchung vollständig vorlag. Die Röntgen- und CT-Aufnahmen der Jahre 2002 und 2003 bis zur Einführung der digitalen Bildgebung waren auch durch Umbauarbeiten im Rahmen des Umzuges der Universitätsklinik nur erschwert verfügbar. Von den 39 nachträglich eingeschlossenen Fällen lag von 17 Fällen die radiologische Diagnostik vollständig vor, bei den restlichen 22 Patienten waren die auswärtig angefertigten Röntgen- und CT-Untersuchungen nicht auffindbar bzw. standen nicht zur Verfügung.

Insgesamt konnten somit 92 Patienten (Abb. 4), bei denen die Röntgen- und CT-Aufnahmen zur Verfügung standen, in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt werden. Es waren dies 32 Frauen (34,8%) und 60 Männer (65,2%; Abb.4).

Abbildung 4: Geschlechtsverteilung

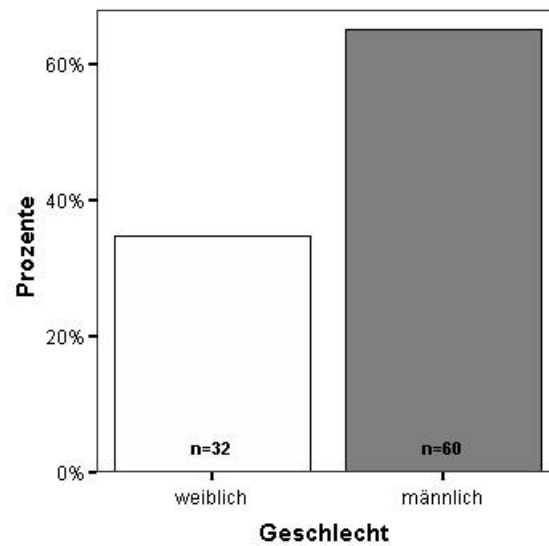


Abb. 4: Geschlechtsverteilung der untersuchten Patienten prozentual und als Absolutwert. Mit 65% (n=60) zeigt sich ein deutliches Überwiegen der männlichen Patienten gegenüber 35% (n=32) weiblicher Patienten.

Der Altersdurchschnitt zum Zeitpunkt des Unfalls lag bei 44,7 Jahren (Median 46; Standardabweichung 15,9), der jüngste Patient war 15 Jahre alt, der älteste Patient 71 Jahre (Abb. 5).

Abbildung 5: Alter bei Unfall

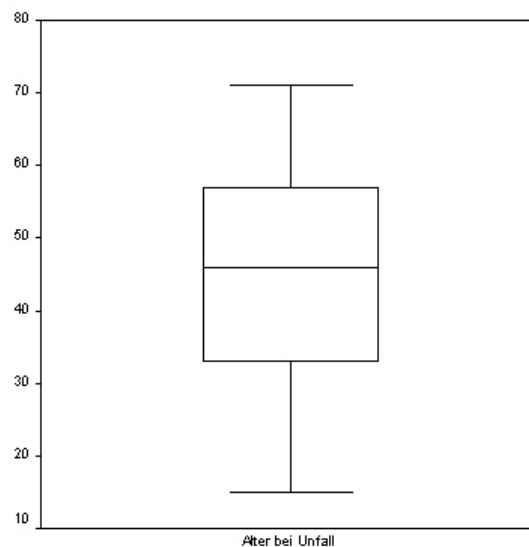


Abb. 5: Darstellung des Patientenalters zum Zeitpunkt des Unfalls im Boxplot. Altersmedian liegt bei 46 Jahren, der jüngste Patient ist 15 Jahre alt, der älteste Patient 71 Jahre.

2.2 Unfallkategorie und Unfallursache

Die Unfälle wurden in Arbeitsunfälle, Privatunfälle und Unfälle in suizidaler Absicht kategorisiert. In 66 Fällen (71,7%) geschah der Unfall im privaten Bereich, in 22 Fällen (23,9%) lag ein Arbeitsunfall vor, in 4 Fällen (4,3%) ein Suizidversuch (Abb.6).

Abbildung 6: Unfallkategorie

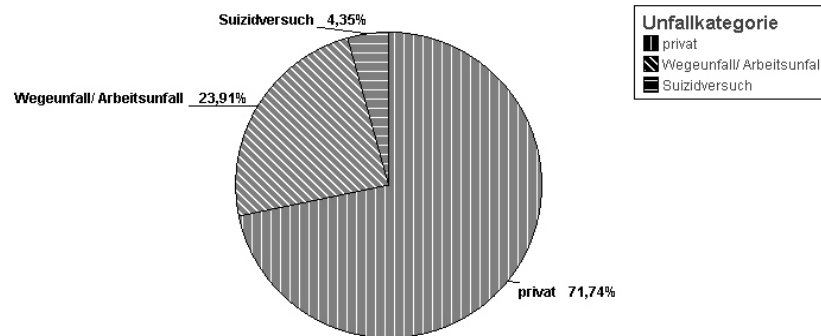


Abb. 6: Verteilung der verschiedenen Unfallkategorien. Mit 72% ist der Unfall im privaten Bereich deutlich gehäuft aufgetreten, in nur 24% handelte es sich um einen Weg- bzw. Arbeitsunfall, einen geringen Anteil von 4% machten die Suizidversuche aus.

Die Ursachen der Unfälle (Abb. 7) wurden eingeteilt in PKW-, Motorrad- und Fahrradunfälle, Sturz und Fall aus einer Höhe sowie Unfälle mit einer direkten Krafteinwirkung auf die Wirbelsäule. Die Hauptunfallursache waren Stürze aus einer Höhe (n=57; 62%), gefolgt von PKW-Unfällen (n=25; 27,2%). In deutlich weniger Fällen waren die Patienten in Motorradunfällen (n=4; 4,3%) verwickelt. In derselben Fallzahl war ein direktes Trauma (n=4; 4,3%) Ursache der Fraktur. Bei den wenigsten Patienten (n=2; 2,2%) kam es durch einen Fahrradsturz zur Wirbelsäulenverletzung.

Abbildung 7: Unfallursachen

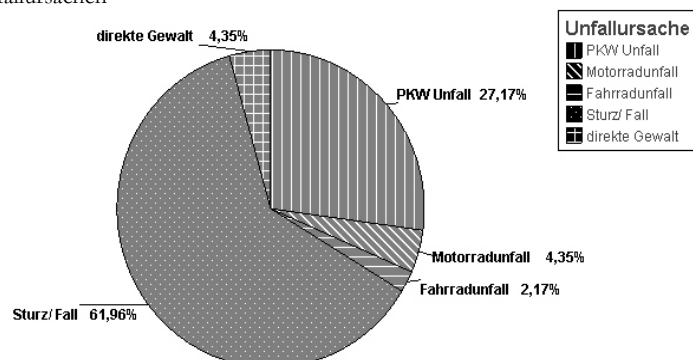


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der Unfallursachen. Am häufigsten (62%) war ein Sturz bzw. Fall die Unfallursache. Am zweithäufigsten, mit deutlichem Abstand zur Hauptunfallursache, war in 27% ein PKW-Unfall die Verletzungsursache. Direkte Gewalteinwirkungen und Motorradunfälle (je 4%) sowie Fahrradunfälle (2%) waren weniger häufige Unfallursachen.

2.3 Frakturlokalisation

Am häufigsten waren die Frakturen im thorakolumbalen Übergangsbereich lokalisiert (Abb. 8). Der LWK 1 war 49mal (53,3%) betroffen, LWK 2 in 18 Fällen (19,6%), der BWK 12 13 mal (14,1%). Deutlich weniger häufig war der LWK 4 (n=5; 5,4%), LWK 3 (n=3; 3,3%), BWK 11 (n=2; 2,2%), LWK 5 und BWK10 (n=1; 1,1 %) betroffen.

Abbildung 8: Frakturlokalisation

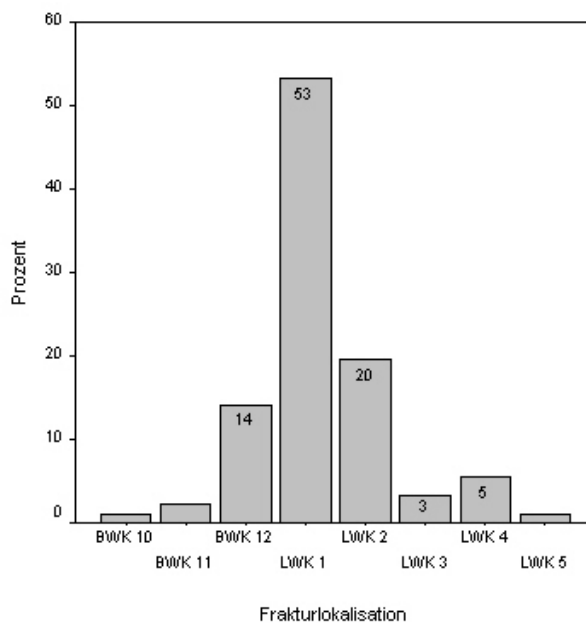


Abb. 8: Prozentuale Lokalisationsverteilung der Frakturen des thorakolumbalen und lumbalen Bereichs: Hauptlokalisation war in 53,3% der Fälle LWK 1, gefolgt mit deutlichem Abstand vom LWK 2 mit 20% und mit 14% vom BWK 12.

2.4 Klinisch-neurologischer Aufnahmebefund

Der klinisch-neurologische Aufnahmebefund wurde aus den Krankenblättern entnommen, der neurologische Befund wurde nach der Frankel-Einteilung klassifiziert [50] (Tabelle 2).

Tabelle 2: Neurologisches Defizit nach Frankel und Mitarb. (1979)

A	motorisch und sensibel komplett
B	motorisch komplett, sensibel inkomplett
C	motorisch inkomplett, funktionell "nutzlos"
D	motorisch inkomplett, "brauchbare" Restfunktion (häufig gehfähig)
E	keine neurologische Symptomatik

Die Patienten konnten entsprechend ihres neurologischen Aufnahmebefundes, eingeteilt nach der Frankel-Klassifikation, folgend zugeordnet werden:

Frankel D: 5 Patienten (5,4%)

Frankel C: 2 Patienten (2,2%)

Frankel B: 1 Patient (1,1%)

Frankel A: 1 Patient (1,1%)

Die weitaus meisten Patienten (n=83; 90,2%) waren bei der stationären Aufnahme oder Übernahme aus anderen Krankenhäusern zur Versorgung der Wirbelkörperfrakturen neurologisch unauffällig, Frankel E.

Der neurologische Aufnahmezustand der Patienten wird in Beziehung zum Zeitpunkt der Operation sowie zu den posttraumatischen Veränderungen gesetzt.

2.5 Frakturklassifikation und Frakturmerkmale

2.5.1 *Frakturtyp*

Anhand der unmittelbar nach dem Unfall angefertigten CT-Aufnahmen und Röntgenbilder der Wirbelsäule erfolgte die Klassifikation der Frakturen entsprechend der von der American Spine Injury Association (ASIA) entwickelten „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer, Tabelle 1 [97], welche zur Vereinfachung in der Folge Meyer-Klassifikation genannt wird. Die Verteilung der Frakturen nach genannter Fraktуреinteilung wird aufgezeigt und in Beziehung zum Korrekturverlust gesetzt.

Nach der Meyer-Klassifikation wurden die Frakturen 29 mal (31,5%) dem Typ B und 63 mal (68,5%) dem Typ C zugeordnet (Abb. 9).

Abbildung 9: Unterteilung der Frakturtypen nach der „Universal Spine Fracture Classification“ (MEYER-Klassifikation)

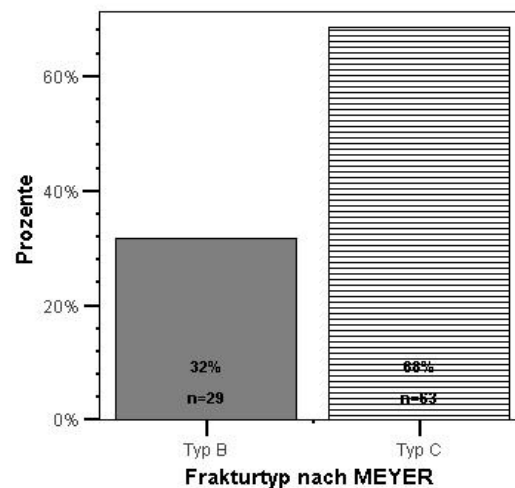


Abb. 9: Unterteilung der Frakturen in Typ B und C der Meyer-Klassifikation prozentual und als Absolutwert. Der Frakturtyp C lag in 68,5%, der Typ B in 31,5% vor.

2.5.2 *Anzahl der verletzten Säulen*

Entsprechend des Drei-Säulen-Modells von Denis [31] wurde untersucht, wie viele Säulen des Wirbelkörpers an der Fraktur beteiligt sind. Die Anzahl der verletzten Säulen, welche auch ein wesentlicher Punkt der Meyer-Klassifikation ist, wurde in Beziehung zum späteren Korrekturverlust gesetzt.

In 36 Fällen (39,1%) waren die vordere und die mittlere Säule betroffen, in 56 Fällen (58,7%) waren alle 3 Säulen betroffen. Frakturen der mittleren und hinteren Säule ohne Beteiligung der vorderen Säule traten in unserem analysierten Patientengut nicht auf.

2.5.3 Translokation

Eine Translation im sagittalen oder frontalen Wirbelsäulenprofil wurde in $< \frac{1}{4}$ des Wirbelkörpers und $\geq \frac{1}{4}$ des Wirbelkörpers entsprechend der Meyer-Klassifikation eingeteilt.

In nur drei Fällen (3,3%) zeigte sich eine relevante Translation ($> \frac{1}{4}$ des Wirbelkörpers) im sagittalen oder frontalen Profil.

2.5.4 Intraspinale Kompression

Durch das Trauma mit Beteiligung der Hinterkante der mittleren Säule des Wirbelkörpers kam es in 85 Fällen (92,5%) zur Verlagerung eines Fragmentes in den Spinalkanal. Die posttraumatische Einengung des Spinalkanals prozentual zum normalen Querschnitt des Spinalkanals wurde anhand des unmittelbar nach dem Unfall angefertigten CT's der Wirbelsäule geschätzt und in eine der folgenden 4 Gruppen in Anlehnung an die Einteilung der Spinalkanaleinengung nach Wolter [139] (dort Unterteilung der Einengung jeweils in Dritteln) aufgegliedert. Diese Gliederung wurde auch im Hinblick auf die gute Einschätzbarkeit der Gruppenzugehörigkeit gewählt:

1. keine Einengung des Spinalkanals
2. Einengung >0 - $<25\%$
3. Einengung von 25 - 60%
4. Einengung von $>60\%$

Die Zuordnungen der Wirbelkörperfrakturen entsprechend der Eingruppierung der spinalen Kompression sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Intraspinale Kompression

<i>Gruppe der spinalen Kompression</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>
0 %	7	7,6
>0%-<25 %	10	10,9
25%-60%	57	62,0
>60%	18	19,6

Ein Zusammenhang zwischen der intraspinalen posttraumatischen Einengung und dem neurologischen Befund bei Aufnahme der Patienten fand sich nicht. 92,4% der Patienten (n=85) zeigten im unmittelbar nach dem Unfall angefertigten CT der Wirbelsäule eine Einengung des Spinalkanals durch ein Hinterkantenfragment, wohingegen nur 9,8% (n=9) aller Patienten ein neurologisches Defizit bei der stationären Aufnahme zeigten, davon in 5 Fällen sogar nur ein leichtes (Frankel D).

2.5.5 Posttraumatische Fehlstellung

Die Bestimmung der posttraumatischen Fehlstellung, meist einer Kyphose, wird an dieser Stelle im Rahmen der Frakturmerkmale der Vollständigkeit wegen erwähnt, im Folgenden aber unter dem Gliederungspunkt radiometrische Parameter zusammenhängend erläutert. Die posttraumatische Fehlstellung wurde mit dem Repositionsverlust in Beziehung gesetzt.

2.5.6 Ventrale Höhe

Auf die Ermittlung der ventralen Höhe, welche in der Meyer-Klassifikation erwähnt wird, ohne jedoch den Frakturtyp zu beeinflussen, wurde bewusst verzichtet, da der gemessene Körperwinkel und der sagittale Index den Schweregrad der Ausbildung des posttraumatischen Keilwirbels ausreichend wiedergeben. Auch andere Autoren verzichteten auf die Ermittlung der ventralen Höhe [46,72,74,82,130].

Nicht erfasst werden dagegen Frakturen, wo der Wirbelkörper in sich zusammensintert. Diese Frakturen führen aber in der Regel dadurch auch nicht zu einer Achsabweichung im sagittalen Profil, welche operativ korrigiert werden müsste. Letztendlich ist dann auch ein zu analysierender Korrekturverlust, welcher Thema dieser Arbeit ist, nicht ermittelbar.

Der Körperwinkel und der sagittale Index, welche ebenfalls unter den radiometrischen Parametern noch zusammenhängend erläutert werden, wurden bestimmt und mit dem Korrekturverlust in Beziehung gesetzt.

2.6 Therapie

2.6.1 *Implantation des Fixateur interne*

2.6.1.1 *Operationsindikation*

Neben der *absoluten* Operationsindikation einer inkompletten Lähmung, eines progredienten neurologischen Defizits und der offenen Verletzung der Wirbelsäule bestand die *relative* Operationsindikation bei primär kompletten Lähmungen mit Hinblick auf stabilisierende Maßnahmen zur möglichst früh einsetzenden Rehabilitation, einer instabilen Fraktur mit Beteiligung der Hinterkante der mittleren Säule und/oder einer Fraktur mit starker Achsabweichung im sagittalen Profil über 20° oder einer signifikanten Translation (über 1/4 des Wirbelkörpers im sagittalen und frontalen Profil). Bei der Stellung der Operationsindikation wurde auch die psychische Situation der Patienten berücksichtigt: so sollte bei einer starken motorischen Unruhe, bei schwer zu führenden Patienten z. B. mit Psychosen oder deliranten Zustandsbildern die Indikation zur Operation großzügiger gestellt werden [67].

2.6.1.2 *Operationszeitpunkt*

Die Zeit zwischen dem Unfall und der Operation des Patienten wurde in Beziehung zum klinisch-neurologischen Aufnahmebefund gesetzt und lag im Durchschnitt bei 5 Tagen (Standardabweichung 5,6; Minimum 0, Maximum 25). Hatten die Patienten nach dem Unfall ein neurologisches Defizit, wurden die meisten noch am Unfalltag operiert.

In unserem Patientengut boten 9 Patienten nach dem Unfall eine neurologische Störung, davon wurden 5 (55,6%) noch am Unfalltag operiert, 2 Patienten (22,2%) am Folgetag, je ein Patient (11,1%) am 5. bzw. 23. Tag nach dem Unfall. Teilweise entstanden Verzögerungen des Operationszeitpunktes durch die Verlegung in unsere Einrichtung, zum anderen verging Zeit für die Stabilisierung des Allgemeinzustandes der Patienten bis zur erforderlichen Toleranz einer ca. 3stündigen Bauchlage. Im Fall einer 34 jährigen Patientin (Krankenblattnummer 1278/01), welche sich durch einen Fenstersprung in suizidaler Absicht schwerste lebensgefährliche Verletzungen mit einer Kreislaufdepression durch komplexe Beckenfrakturen und beidseitigem Hämato-pneumothorax zuzog, konnte die Wirbelsäulenverletzung mit initialer kompletter Querschnittssymptomatik erst nach 23 Tagen der intensivmedizinischen Stabilisierung des Allgemeinzustandes operativ versorgt werden.

2.6.1.3 Operation

Es wurde bei allen Patienten durch eine dorsale Instrumentierung mittels Schrauben-Stab-System eines Fixateur interne eine Reposition und bissegmentale Stabilisierung der Wirbelkörperfraktur durchgeführt. Erforderlichenfalls wurde versucht, über den dorsalen Zugang durch eine Fusion des Zwischenwirbelraumes oder einer transpedikulären Spongiosaplastik des Keilwirbels die ventrale Säule zu rekonstruieren. Bei Bedarf erfolgte eine Dekompression nervaler Strukturen über eine Laminektomie oder Hemilaminektomie und/oder die Entfernung eines intraspinalen Fragmentes aus dem Wirbelkanal.

Folgende Informationen über die Operation entsprechend den Operationsberichten bzw. den Röntgenkontrollen wurden aufgezeigt:

- Fixateursystem
- Reposition
- Eröffnung des Spinalkanals
- Laminektomie oder Hemilaminektomie/interlaminäre Fensterung oder Teilhemilaminektomie
- Reposition des intraspinalen Knochenfragmentes
- Entfernung der zerstörten Bandscheibe
- Herkunft des autologen Knochenmaterials
- transpedikuläre Spongiosaplastik
- intraoperative Myelographie
- intraoperative Komplikationen

2.6.1.3.1 *Reposition und Stabilisation*

Nach bisegmentaler Platzierung der Pedikelschrauben in die angrenzenden Wirbelkörper wurde in annähernd allen Fällen neben einer Distraction eine Korrektur der posttraumatischen Winkelverhältnisse des verletzten Bewegungssegmentes mit dem Repositionsinstrumentarium erreicht, in den Fällen einer posttraumatischen Kyphose wurde eine Lordosierung vorgenommen. Über das Ausmaß der operativen Aufrichtung wird im Abschnitt 2.7.2. berichtet. Anschließend erfolgte über Längsträger die Stabilisation der Korrekturstellung.

In den häufigsten Fällen (n=55; 60%) implantierten wir das Kluger™-System (Däumer International Medical Equipment, Eulengasse 7, 97478 Knetzgau, Deutschland), gefolgt vom Tenor™-System (Medtronic GmbH, Emanuel-Leutze-Straße 20, 40547 Düsseldorf (n=20; 22%) und Stryker™-System (Stryker GmbH & Co. KG, Dr.-Horner-Platz 1, 47228 Duisburg) (n=17; 19%), Abb. 10.

Abbildung 10: Fixateur interne-Systeme

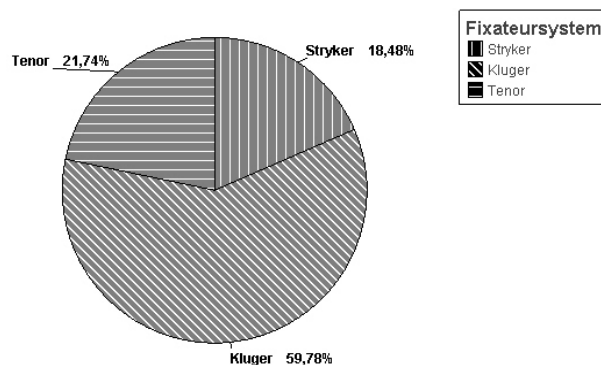


Abb. 10: Prozentuale Verteilung der verschiedenen Fixateur interne-Systeme. Am häufigsten (60%) wurde das Kluger™-System angewendet, jeweils zu fast gleichem Anteil das Tenor™-System (22%) und das Stryker™-System (18%).

2.6.1.3.2 *Dekompression des Spinalkanals u. intraoperative Myelographie*

Die Indikation zur Eröffnung des Spinalkanals während der Frakturversorgung ist äußerst vielfältig. Zum einem ist die Dekompression durch eine Laminektomie oder Hemilaminektomie zur Freilegung komprimierter nervaler Strukturen durchgeführt worden. Zum anderen wurde durch eine interlaminäre Fensterung oder Teilhemilaminektomie der Spinalkanal eröffnet, um eventuell ein intraspinale Fragment zu reponieren und/oder ggf. die verletzte Bandscheibe zu entfernen und den Zwischenwirbelraum mit autologem Knochenmaterial zu fusionieren.

Bei fast allen untersuchten Patienten wurde der Spinalkanal während der Implantation des Fixateur interne eröffnet (n= 83; 90,2 %), in den meisten Fällen (n=51; 55,4%) durch eine interlaminäre Fensterung oder Teilhemilaminektomie. Dabei wurde bei 24 (47%) von diesen 51 Patienten nach einer interlaminären Fensterung oder Teilhemilaminektomie ein intraspinale Fragment mit Hilfe eines Stößel reponiert; bei den anderen Patienten wies die Inspektion des Spinalkanals durch vorsichtiges Austasten keine wesentliche Luxation der Hinterkante der mittleren Säule mehr auf.

Bei 32 Patienten (34,8%) wurde großzügig der Wirbelbogen oder ein halber Wirbelbogen entfernt, bei 16 Patienten (50%) wurde dabei zusätzlich ein intraspinale Fragment reponiert. Keine Eröffnung des Spinalkanals erfuhr 9 Patienten (9,8%).

Insgesamt wurde nur in 18 Fällen (20%) intraoperativ eine Myelographie zur Kontrolle der intraspinalen Verhältnisse durchgeführt, meist (78%; n=14) nach einer Fragmentreposition.

2.6.1.3.3 Rekonstruktion der ventralen Säule

Im untersuchten Zeitraum zwischen 1995 und 2004 wurden in unserer Klinik verschiedene Therapiekonzepte zur Stabilisierung und Rekonstruktion der ventralen Säule (Abb. 11) über den dorsalen Zugang angewandt:

In den meisten Fällen (n=63; 68,5%) wurde die verletzte Bandscheibe oberhalb des frakturierten Wirbelkörpers entfernt und mit Beckenkammpongiosa (n=16; 25,4%) oder mit Knochenmaterial aus dem Zugangsweg (n=40; 63,5%) aufgefüllt. Bei 7 Patienten (7,6%) wurde neben der interkorporellen Fusion mittels autologen Knochenmaterials ein transpedikulärer Wirbelkörperaufbau durchgeführt. 11 Patienten (12%) erhielten einen alleinigen transpedikulären Wirbelkörperaufbau.

Bei immerhin 18 Patienten (19,6%) wurde komplett auf eine Rekonstruktion der ventralen Säule verzichtet.

Abbildung 11: Rekonstruktion der ventralen Säule

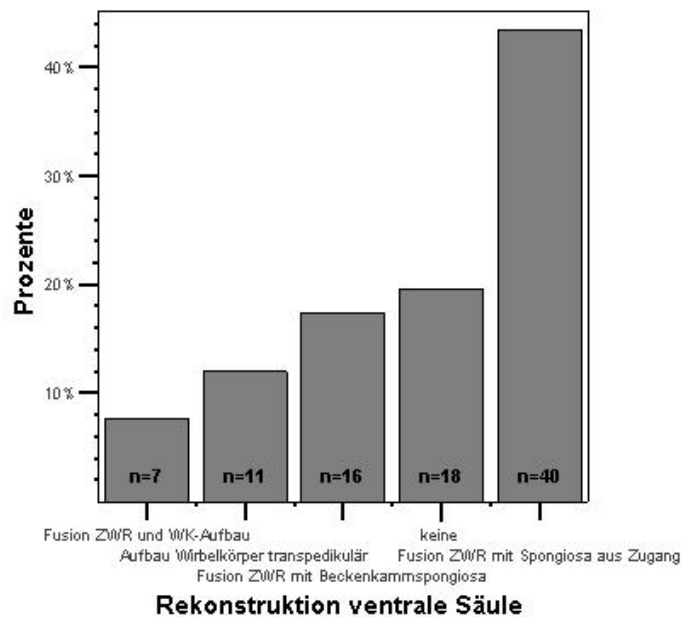


Abb. 11: Darstellung der Häufigkeiten prozentual und als Absolutwerte verschiedener Techniken zur Rekonstruktion der ventralen Säule. Mit Abstand am häufigsten ($n=40$; 63,5%) wurde eine interkorporelle Spongiosaplastik mit Knochenmaterial aus dem Zugangsweg durchgeführt, in deutlich weniger Fällen ($n=16$; 25%) wurde Beckenkammpongiosa dafür verwandt. 18 Patienten (20%) erhielten keine Rekonstruktion der ventralen Säule. In 11 Fällen (12%) wurde der Wirbelkörper transpedikulär aufgebaut, in 7 Fällen (8%) wurde eine interkorporelle und eine intrakorporelle Spongiosaplastik durchgeführt.

2.6.1.3.4 Intraoperative Komplikationen

Bei der dorsalen Rekonstruktion und Stabilisierung kam es bei 5 Patienten (5,4%) zu einem Liquorfluß. Ob es sich dabei um direkte Folge des Traumas oder einen iatrogenen Liquorfluß handelte, lässt sich aus den vorliegenden Unterlagen nicht genau analysieren. Weitere intraoperative Komplikationen sind nicht aufgetreten.

2.6.1.4 Komplikationen nach der Fixateurimplantation einschließlich Fallbeispiele

Die postoperativen Komplikationen wurden unterteilt in:

- Wundheilungsstörungen
- Pedikelschraubenfehlage
- Materialbruch
- Fixateurversagen
- sonstige

Insgesamt ist die Komplikationsrate des Fixateur interne sehr gering, nur 1 Patient erlitt eine lebensbedrohliche Komplikation mit einem akuten progressiven Lungenversagen. 5 Patienten (5,4%) boten eine Verschlechterung des neurologischen Status um einen Grad nach der Frankel-Klassifikation, eine höhergradige Verschlechterung des neurologischen Status trat nach der Operation nicht auf.

Die häufigste Komplikation im Verlauf nach einer Fixateur interne-Implantation war der Materialbruch (n=11; 12%), wobei es nur in 5 Fällen (5,4%) zu einem wahrscheinlich mechanisch wirksamen Materialversagen mit Bruch zweier kaudaler oder kranialer Pedikelschrauben bzw. Bruch beider Längsträger gekommen ist (Abb. 12).

Abbildung 12: Beispiel eines doppelten Schraubenbruches

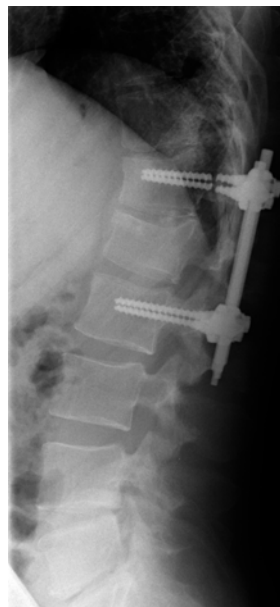


Abb. 12: seitliche Röntgenaufnahme des thorakolumbalen Überganges mit Darstellung eines doppelten Bruches beider kranialen Pedikelschrauben eines Fixateur interne

Bei 5 Patienten (5,4%) kam es zu einer nachweisbaren Pedikelschraubenfehlage, bei 3 Patienten (3,3%) zeigte sich eine oberflächliche Wundheilungsstörung, ein Patient (1,1%) entwickelte einen Psoasabszeß. In einem Fall (1,1%) förderte der Wunddrain Liquor.

Bei 2 Patienten (2,2%) versagte das Fixationssystem, es musste entfernt und durch ein anderes Stabilisierungsverfahren ersetzt werden. Hierbei kann man von einer Operationskomplikation im eigentlichen Sinn nicht sprechen, das angewandte Verfahren war wahrscheinlich eher nicht zur Versorgung dieser instabilen Wirbelkörperfrakturen geeignet.

Im ersten Fall kam es bei einem 56-jährigen Patienten (Krankenblattnummer 56/96) nach Laminektomie und Stabilisierung einer instabilen LWK Fraktur (Abb. 13) mittels Fixateur interne mit einem transpedikulären Wirbelkörperaufbau zu einer weiteren Luxation der Hinterkante der mittleren Säule. Der Fixateur wurde 1 Jahr nach der Implantation entfernt sowie der Spinalkanal durch eine erweiterte Laminektomie dekomprimiert (Abb. 14). Infolge einer weiteren Zunahme der posttraumatischen Kyphose wurde der frakturierte Wirbel in einem erneuten Eingriff 6 Monate nach der Materialentfernung durch ein Titankörbchen ersetzt und über den ventralen Zugang mit einer Platte von lateral stabilisiert (Abb. 15). Die Aufrichtung der posttraumatischen Kyphose gelang aufgrund der Fixierung der lange bestehenden Frakturstellung nicht mehr.

Abbildung 13: Posttraumatische Wirbelveränderungen - ein Fallbeispiel

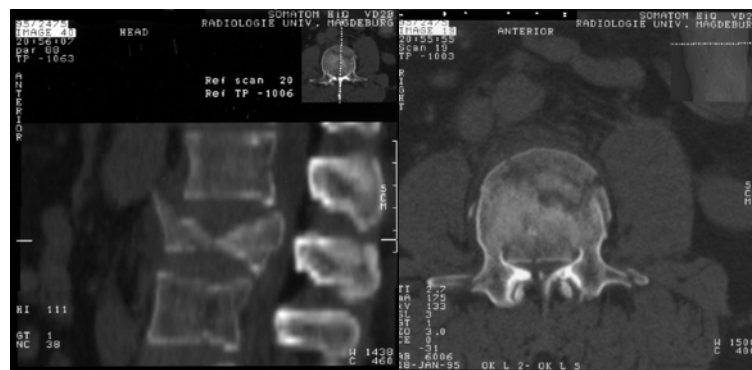


Abbildung 13: Darstellung posttraumatischer Veränderungen einer Wirbelfraktur des genannten Fallbeispiels. Linke Abbildung: Darstellung einer sagittalen CT-Rekonstruktion mit relativ geringer posttraumatischer Kyphose, hochgradiger Wirbelkörpersinterung und Verlegung des Spinalkanals. Rechte Abbildung: axiale CT-Schicht mit Darstellung einer alle 3 Säulen betreffenden Wirbelfraktur und hochgradiger Verlegung des Spinalkanals durch ein intraspinales Hinterkantenfragment

Patienten und Methoden

Abbildung 14: Korrekturverlust nach Reposition und Stabilisation durch einen Fixateur interne - ein Fallbeispiel

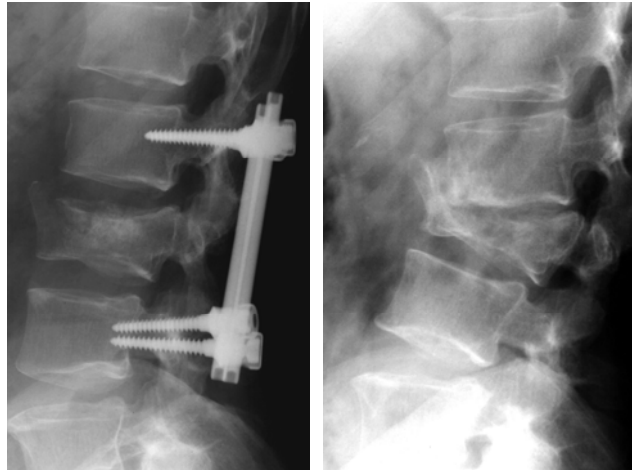


Abbildung 14: Röntgenaufnahmen der LWS seitlich mit Darstellung des postoperativen Korrekturergebnisses direkt nach Implantation eines Fixateur interne mit transpedikulären Wirbelkörperaufbau (linke Abbildung) und dem Verlust des guten Korrekturergebnisses nach der Materialentfernung (rechte Abbildung) mit progressiver Achsabweichung durch eine Sinterung des Wirbelkörpers, besonders der ventralen Säule und des oberen Zwischenwirbelraumes

Abbildung 15: Ergebnis der Frakturbehandlung über einen ventralen Zugang nach Versagen des Fixateur interne - ein Fallbeispiel

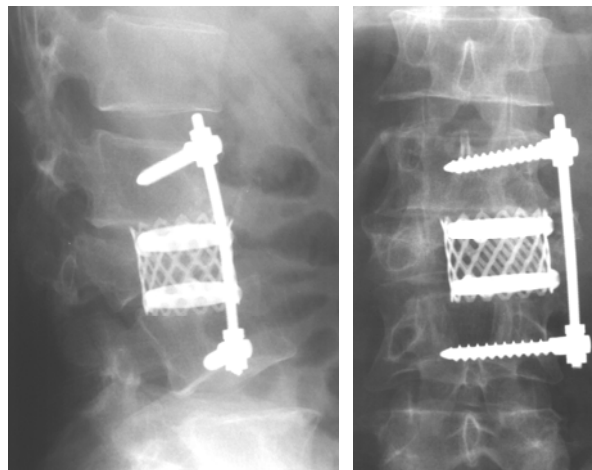


Abbildung 15: Röntgenaufnahmen der LWS seitlich (linke Abbildung) und a. p. (rechte Abbildung) mit Darstellung des Ergebnisses der Frakturbehandlung des Fallbeispiels nach Dekompression, Wirbelkörperersatz mit einem Titankörbchen und lateraler Verschraubung über einen ventralen Zugang nach vorheriger Implantation eines Fixateur interne und folgender Explantation des Fixateur interne mit erweiterter Laminektomie. Eine Aufrichtung der kyphotischen Fehlstellung war aufgrund der Fixierung der bereits lange bestehenden Frakturstellung nicht mehr möglich.

Auch im zweiten Fall, eine 18 jährigen Patientin (Krankenblattnummer 647/98), kam es nach der Reposition und Stabilisierung einer LWK 1 Fraktur (Abb. 16) durch einen Fixateur interne, einer Laminektomie und einem interkorporellen Spongiosainterponat zu einem hochgradigen Korrekturverlust (Abb. 17). Das Fixationssystem musste nach 1 Monat erneuert werden (Abb. 17), der Wirbelkörper wurde transpedikulär mit Beckenkammspongiosa aufgebaut. Auch nach der Revisionsoperation kam es zur erneuten Achsabweichung im Sinne einer deutlichen Gibbusbildung (Abb. 18).

Abbildung 16: Posttraumatische Veränderung des Wirbelkörpers - ein Fallbeispiel

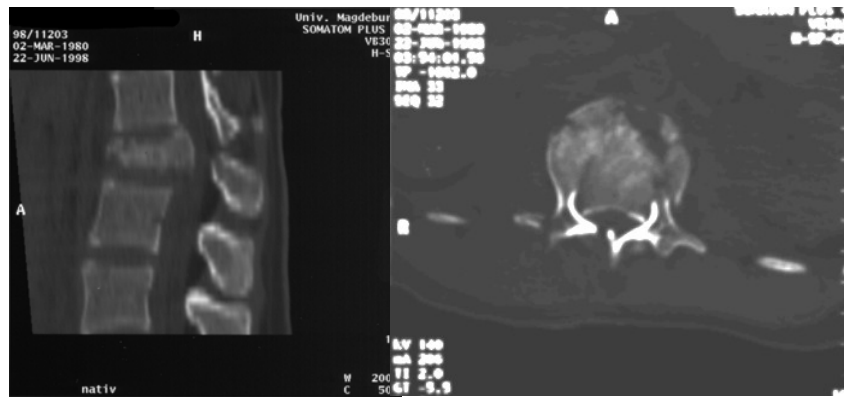


Abb. 16: Darstellung posttraumatischer Veränderungen einer Wirbelfraktur. Linke Abbildung: Darstellung einer sagittalen CT-Rekonstruktion mit posttraumatischer Kyphose, Wirbelkörpersinterung, besonders der ventralen Säule und Verlegung des Spinalkanals. Rechte Abbildung: axiale CT-Schicht mit Darstellung einer alle 3 Säulen betreffenden Wirbelfraktur und hochgradiger Verlegung des Spinalkanals durch ein intraspinale Hinterkantenfragment

Abbildung 17: Korrekturverlust nach Implantation eines Fixateur interne - ein Fallbeispiel

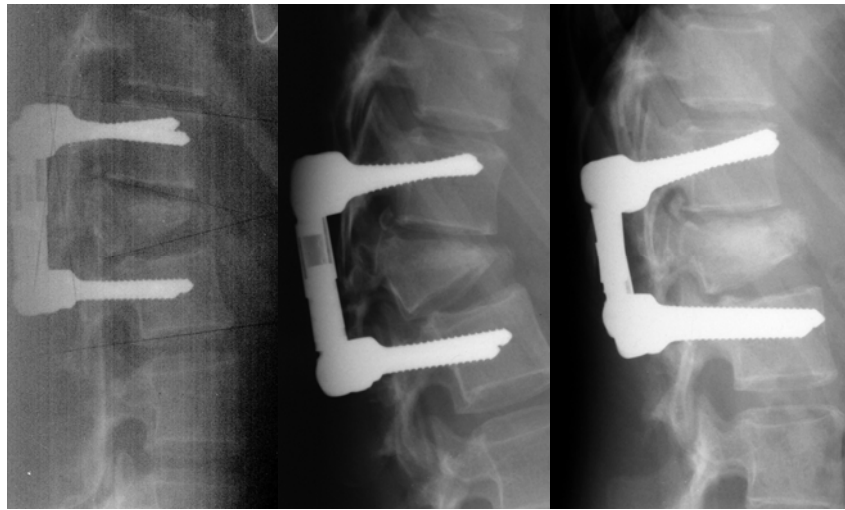


Abb. 17: seitliche Röntgenaufnahmen der LWS mit Darstellung des Korrekturergebnisses (linke Abbildung) und des Zustandes vor Erneuerung des Fixateur interne (Mitte) sowie Darstellung des Korrekturergebnisses nach Erneuerung des Fixateur interne und transpedikulären Wirbelkörperaufbau (rechte Abbildung)

Abbildung 18: Verlauf und Ergebnis einer Fixateur interne-Frakturbehandlung - ein Fallbeispiel



Abb. 18: seitliche Röntgenaufnahmen der LWS mit Darstellung des Korrekturverhaltens und dem Ergebnis der Frakturbehandlung. Linke Abbildung: Darstellung der weiter gesinterten Korrekturstellung nach Erneuerung des Fixateur interne mit transpedikulären Wirbelkörperaufbau und vor der Materialentfernung. Rechte Abbildung: Ergebnis der Frakturbehandlung mit einem deutlichen kyphotischen Knick

2.6.2 *Perioperatives Management einschließlich postoperativer Nachsorge*

Die Patienten mit einer instabilen Wirbelkörperfraktur des thorakolumbalen Überganges und der LWS bekamen bis zur Operation eine strenge Bettruhe auferlegt, auf eine achsengerechte Lagerung wurde geachtet.

Zur perioperativen Infektionsprophylaxe wurde ein Antibiotikum unmittelbar vor dem Hautschnitt verabreicht.

Postoperativ erfolgte die schrittweise Mobilisation mit angelegtem 3-Punkt-Stütz-Korsett. Röntgenkontrollen wurden vor, während und nach dem Belastungsaufbau anfertigt. Das Korsett wurde in der Regel für die Dauer von 3 Monaten angelegt.

Die Patienten stellten sich meistens in 4-wöchigen Abständen zur klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle in der Neurochirurgischen Poliklinik vor.

2.6.3 *Materialentfernung*

Bei fast allen Patienten (n=84; 91,3%) wurde der Fixateur interne wieder entfernt, im Durchschnitt nach 14,8 Monaten (Standardabweichung 1,2; Minimum 3 Monate, Maximum 102 Monate). In 8 Fällen wurde die Materialentfernung nicht durchgeführt, meistens war aufgrund des höheren Lebensalters verbunden mit dem höheren Narkoserisiko die Materialentfernung vom Patienten nicht gewünscht worden.

Vor und nach der Materialentfernung wurden Röntgenaufnahmen zur Kontrolle der Korrekturstellung und des Materials bzw. Vollständigkeit der Materialentfernung angefertigt.

Auch die Materialentfernung zeigte eine niedrige Komplikationsrate. Bei 6 Patienten (7,1%) kam es während der Materialentfernung zum Bruch einer Pedikelschraube, teilweise verblieb die Restschraube im Wirbelkörper.

2 Patienten (1,7%) zeigten nach der Materialentfernung eine oberflächliche Wundheilungsstörung, welche unter konservativer Therapie problemlos heilte. Ebenfalls 2 Patienten (1,7%) bildeten postoperativ ein Wundhämatom aus. Bei 1 Patienten (1,2%) musste ein abgerissenes Stück eines Redons durch eine erneute Operation entfernt werden.

Die Patienten waren auch nach der Materialentfernung in der Poliklinik der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg zur klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle vorstellig. Die erhobenen Befunde bzw. Patientenangaben wurden nach der Frankel-Klassifikation und der Schmerz- und Arbeitsfähigkeits-Klassifikation nach DENIS [31] (Tabelle 4 und 5) eingeteilt.

2.7 Methoden

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Analyse von Verläufen aus klinischen und radiologischen Untersuchungen. Die Patientendaten, Anamnesen und Untersuchungsbefunde stammen aus den Epikrisen des stationären Aufenthaltes einschließlich Verlegungsbriefen, Aufnahmebefunden, Verlaufsberichten, Operationsberichten und Entlassungsbefunden sowie Befundberichten aus der Poliklinik der Klinik für Neurochirurgie der Uniklinik Magdeburg. Die dazu erforderlichen Krankenblätter waren vollständig im Klinikarchiv archiviert. Zusätzlich wurden die Röntgen- und CT-Bilder der Wirbelsäule, welche zur Diagnostik und Verlaufskontrolle angefertigt wurden, beurteilt.

2.7.1 Radiometrische Parameter

2.7.1.1 Allgemein

Die folgenden Messungen wurden anhand der Röntgenaufnahmen

- unmittelbar nach dem Unfallereignis
- unmittelbar nach Implantation des Fixateur interne
- ca. 1 Jahr postoperativ, unmittelbar vor der Materialentfernung
- unmittelbar nach der Materialentfernung

durchgeführt. Sie waren zur Diagnostik und Verlaufsbeurteilung angefertigt worden.

Sämtliche Röntgenaufnahmen wurden zur einheitlichen elektronischen Messung über einen Hochleistungsscanner der Klinik für Diagnostische Radiologie der Universität Magdeburg eingelesen und als Bilddaten in das digitale Bildbetrachtungssystem Chili® Web, Version 1.4 der Chili GmbH, Heidelberg, importiert. Seit September 2003 ist die gesamte radiologische Diagnostik der Uniklinik Magdeburg im Chili® Web gespeichert. Die Messungen erfolgten über die Vermessungssoftware des Chili® Web-Programms.

Da die Wirbelkörper unterschiedlich im Strahlengang während der Röntgenaufnahme lagen und sich somit verschieden auf den Film projizierten, wurde zur einheitlichen Vermessung folgendes Vorgehen gewählt:

1. Wirbelkörper im Zentralstrahl:

- gerade, nicht verkippte Abbildung des Wirbelkörpers auf dem Röntgenfilm, die Grund- bzw. Deckplatte bildet in Projektion auf den Röntgenfilm eine Linie:

→ Messpunkte für Winkelmessungen wurden entsprechend der Grund- oder Deckplatte auf der projizierten Linie angelegt (Abb. 19)

Abbildung 19: Messpunkte für Winkel des Wirbels im Zentralstrahl



Abb. 19: Darstellung eines Wirbelkörpers im Zentralstrahl, links eine schematische Zeichnung, rechts ein Wirbelkörper vergrößert aus einem seitlichen Röntgenbild, der Wirbelkörper projiziert sich nicht verkippt als Rechteck auf dem Röntgenfilm, da die seitlichen Ränder der Endplatten genau auf einer Ebene liegen und daher als eine Linie abgebildet werden. Die Kreuze zeigen die jeweiligen Anlagepunkte für die Winkelmessungen.

2. Wirbelkörper außerhalb des Zentralstrahls

- verkippte Projektion des Wirbelkörpers auf dem Röntgenfilm, eine runde 3-dimensionale Fläche (Grund- und Deckplatte des Wirbelkörpers) erscheint auf einer 2-dimensionalen Fläche (dem Röntgenfilm) fast immer als Ellipse:

→ Messpunkte für Winkelmessungen wurden auf einer Geraden, welche durch den größten Durchmesser der projizierten Ellipse läuft, gelegt (Abb.20). An diesen Punkten kam es häufig auch durch den Summationseffekt der seitlichen Ränder der Endplatten zu einer Aufhellung (Transparenzminderung).

Abbildung 20: Messpunkte für Winkel des Wirbels außerhalb des Zentralstrahls



Abb. 20: Darstellung eines Wirbelkörpers außerhalb des Zentralstrahls: Links eine schematische Zeichnung, rechts ein Wirbelkörper vergrößert aus einem seitlichen Röntgenbild. Die Grund- bzw. Deckplatte wird als Fläche ellipsenförmig abgebildet. Die Kreuze zeigen die Anlagepunkte der Winkelmessungen: sie liegen auf der Ellipse am weitesten voneinander entfernt und zeigen daher genau die vordere und hintere Begrenzung der Wirbelkörperendplatten an.

Untersuchungen von Kuklo et al. [79] zeigten, dass die Messgenauigkeit der Winkelmessungen nicht von der Lage des zu vermessenden Wirbels oder Wirbelsegmentes zum Zentralstrahl beeinflusst wird.

Winkel, die das Ausmaß einer Kyphose darstellten, erhielten ein negatives Vorzeichen.

2.7.1.2 Messungen des sagittalen Profils

Die Messungen des sagittalen Profils wurden für den Zeitpunkt des Unfalls, direkt nach Implantation des Fixateur interne sowie unmittelbar vor und nach der Materialentfernung durchgeführt.

2.7.1.2.1 Kyphosestellung bzw. Grund-Deckplatten-Winkel

Der Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) zwischen angrenzendem oberen bzw. unteren Wirbelkörper wird im Folgenden auch als Kyphosestellung bezeichnet, da diese Abwinkelung die resultierende, meist kyphotische Gesamtachsabweichung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, den Gesamtkyphosewinkel [44], nach dem Unfall darstellt. In den Grund-Deckplatten-Winkel fließen der Winkel des verletzten Wirbels sowie die Winkel der angrenzenden Zwischenwirbelräume mit ein. Der GDW wurde mit der Cobb-Methode [22] zwischen Deckplatte des kranial und der Grundplatte des kaudal vom verletzten Wirbelkörper gelegenen Wirbels bestimmt (Abb. 21). Die Messung des GDW mit der Cobb-Methode hat eine sehr hohe Intra- und Interobserverreliabilität [79]. Die alleinige Bestimmung des Körperwinkels der verletzten Wirbelkörper ist zur Verlaufsbeurteilung des sagittalen Profils nach Operation nicht geeignet, da der Körperwinkel den bedeutenden Korrekturverlust des Zwischenwirbelraumes nicht mit erfasst [72].

Abbildung 21: Winkelbestimmung

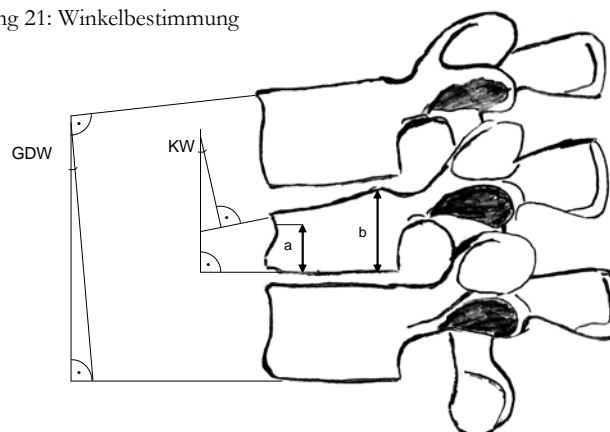


Abb. 21: Darstellung der Winkelmessungen mit der Cobb-Methode im seitlichen Röntgenbild: Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) zwischen Deckplatte des oberhalb und der Grundplatte des unterhalb liegenden Wirbels. Körperwinkel (KW) zwischen Grund- u. Deckplatte des frakturierten Wirbels. Der Quotient zwischen der Vorder(a)- u. Hinterkante(b) bildet den sagittalen Index.

2.7.1.2.2 Körperwinkel

Der Körperwinkel (Abb. 21) ist der Winkel zwischen der Grund- und Deckplatte des frakturierten Wirbelkörpers. Da häufig eine ventrale Höhenminderung des verletzten Wirbelkörpers mit einer Keilwirbelbildung vorliegt, ist der gemessene Wirbel verantwortlich für die posttraumatische Kyphose.

2.7.1.2.3 Sagittaler oder Beckscher Index

Neben dem Körperwinkel als ein Maß für die Schwere der Wirbelverletzung wurde der sagittale oder auch Becksche Index [7] bestimmt. Er ist der Quotient zwischen Vorder- und Hinterkante des verletzten Wirbels (Abb. 21).

2.7.1.2.4 Winkel der Zwischenwirbelräume

Die Differenz zwischen dem Körper- und dem Grund-Deckplatten-Winkel ergibt den Winkel der angrenzenden Zwischenwirbelräume. In der vorliegenden Arbeit wurde bewusst auf das voneinander getrennte Ausmessen des oberhalb und unterhalb des verletzten Wirbelkörpers gelegenen Zwischenwirbelraumes verzichtet. Denn es ist bereits bekannt, dass es meist nur oberhalb des verletzten Wirbels zum Zerreißen der Bandscheibe mit einer konsekutiven Achsabweichung kommt [46,44,25,81,82,45,130]. Zum getrennten Auswerten des oberen und unteren Zwischenwirbelraumes wäre zusätzlich die Bestimmung einer segmentalen Kyphose [130] (Winkel zwischen der Grundplatte des Frakturwirbels und der Deckplatte des Wirbels oberhalb des Frakturwirbels) erforderlich. Eine Untersuchung von Kuklo et al. [79] zeigte jedoch, dass die Intra- und Interobserverreliabilität der Messung der segmentalen Kyphose deutlich geringer ist als die Messung des Grund-Deckplatten-Winkels (GDW) und des Körperwinkels.

2.7.1.3 Messungen des frontalen Profils

Der Skoliosewinkel wurde mit Hilfe der Cobb-Methode [22] bestimmt für den Zeitpunkt des Unfalls, direkt nach Implantation des Fixateur interne sowie unmittelbar vor und nach der Materialentfernung.

2.7.2 Reposition bzw. operative Aufrichtung

Die Differenz der jeweiligen Winkelmaße (Kyphosestellung, Körperwinkel, Winkel des Zwischenwirbelraumes) zum Zeitpunkt direkt nach dem Unfall und direkt nach der Implantation des Fixateur interne ist das Maß der operativen Aufrichtung, welches in Beziehung zum Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation und zum postoperativen Korrekturverlust gesetzt wurde.

2.7.3 *Korrekturverlust*

Um die Fähigkeit des Fixateur interne zu prüfen, die operativ erreichte Achsenstellung zu halten, wurden die Differenzen der jeweiligen Winkelmaße des Kyphosewinkels (GDW), des Körperwinkels und des Winkels des Zwischenwirbelraumes zwischen den Zeitpunkten direkt nach der Implantation des Fixateur und unmittelbar vor der Materialentfernung sowie vor und nach der Materialentfernung berechnet. Die so gebildeten Absolutwerte stellen den Repositionsverlust der einzelnen Winkel zwischen den genannten Zeitpunkten dar, der genaue Zeitverlauf der erneuten Achsabweichung nach Implantation eines Fixateur interne lässt sich so darstellen.

Weiter wurde untersucht, welche präoperativen Zustände und welche operativen Maßnahmen während der Fixateurimplantation (z.B. interkorporelle Spongiosaplastik) diese Sinterungsrate der Korrekturstellung beeinflussten. Insbesondere interessierte, ob der Frakturtyp bzw. die Verletzungsform des Wirbelkörpers das Ausmaß des späteren Korrekturverlustes beeinflusst. Bei nachgewiesener Abhängigkeit des Zusammensinterns der Korrekturstellung nach dorsaler Reposition und Stabilisation vom einfach zu bestimmenden Frakturtyp der Meyer-Klassifikation bzw. einfach zu bestimmenden Frakturmerkmalen könnte die Therapieplanung und damit auch der Therapieerfolg optimiert werden. Zur Vermeidung einer bleibenden Fehlstellung wäre bei bestimmten Verletzungsmerkmalen primär neben der dorsalen Reposition und Stabilisation zusätzlich eine laterale Stabilisierung bzw. eine kombinierte dorso-ventrale Technik indiziert. Wird bei einer geringgradigen Verletzung des Wirbels eine gute Stabilisierungsfähigkeit des Fixateur interne ohne einer weiteren wesentlichen Achsabweichung nach der Operation erwartet, würden zusätzliche ventrale oder laterale Verfahren den Patienten nur unnötig belasten.

2.7.4 *Klinisch-neurologischer Verlauf*

Die Patienten stellten sich regelmäßig zur klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle in der Poliklinik der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg vor. Die Angaben über den neurologischen Befund, die Schmerzsituation und über die Arbeitsfähigkeit unmittelbar vor der Materialentfernung sowie nach der Materialentfernung wurden, soweit aus den Krankenblättern zu entnehmen war, erfasst. Auch hier erfolgte die Einteilung des neurologischen Befundes nach der Frankel-Klassifikation, Schmerzen und Arbeitsfähigkeit entsprechend der Schmerz- und Arbeitsfähigkeits-Klassifikation nach DENIS [31] (Tabelle 4 und 5). Die Beschwerden, der neurologische Befund und die Arbeitsfähigkeit ca. 15 Monate nach operativer Versorgung der Wirbelkörperfraktur wurden in Beziehung zur Korrekturstellung bzw. zur Sinterungsrate gestellt.

Patienten und Methoden

Tabelle 4: Schmerzskala nach Denis

P1	keinen Schmerz
P2	gelegentlicher minimaler Schmerz, kein Schmerzmittelbedarf
P3	mäßiger Schmerz, gelegentlich Schmerzmittelbedarf, keine Arbeitsunterbrechung oder Einschränkung im Alltag
P4	mäßiger bis starker Schmerz, gelegentlich AU, deutliche Beeinträchtigung des Alltags
P5	ständiger starker Schmerz, Schmerzdauermedikation

Tabelle 5: Arbeitsfähigkeitsskala von Denis

W1	Wiederaufnahme der normalen (harten) Arbeit oder körperlich anstrengender Aktivität
W2	Wiederaufnahme der normalen (sitzenden) Arbeit oder harten Arbeit mit leichten Einschränkungen
W3	Umschulung, im neuen Beruf Vollzeit
W4	Unmöglichkeit eines Vollzeitjobs
W5	Arbeitsunfähigkeit

2.7.5 Statistische Verfahren

Die Analyse der Daten erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms „SPSS für Windows ®“©, Version 11.5 (Statistical Package for Social Science Software, SPSS Inc., Chicago, USA) mit Unterstützung durch Frau Dipl. –Ök. Peters, Institut für Biometrie und Medizinische Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Direktor Univ. –Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. Bernarding).

Mittelwertvergleiche von zwei unabhängigen Stichproben bei Normalverteilung wurden mit dem t-Test nach Student verglichen, zur Überprüfung der Verteilungsform wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Alle Konfidenzintervalle waren mit 95% vorgegeben.

Zur Überprüfung eventueller Störfaktoren wie z.B. Alter und Geschlecht auf abhängige Variablen erfolgten univariate mehrfaktorielle Varianzanalysen.

Der Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurde mit Hilfe der einfaktoriellen ANOVA-Analyse und anschließendem Post-Hoc-Test durchgeführt.

Zusammenhänge zwischen nicht-metrischen Variablen wurden auch mit Hilfe von Kreuztabellen ermittelt, zur entsprechenden Signifikanzprüfung wurde der Chi-Quadrat-Test angewandt.

Zusammenhänge zwischen zwei Werten wurden durch den Korrelationskoeffizienten nach Pearson verdeutlicht.

Um den zeitlichen Verlauf der posttraumatischen Kyphose bzw. der korrigierten Achsenstellung der Wirbelsäule zu untersuchen, wurden Varianzanalysen mit wiederholten Messungen berechnet. Innersubjektfaktoren waren der Zeitpunkt nach dem Unfall, unmittelbar nach der Fixateur interne-Implantation sowie vor und nach der Materialentfernung, Zwischensubjektfaktor war der Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation.

Folgende Signifikanzniveaus (Tab. 6) wurden angenommen:

Tabelle 6: Signifikanzniveaus

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0,05$	nicht signifikant	ns
$p \leq 0,05$	signifikant	*
$p \leq 0,01$	sehr signifikant	**
$p \leq 0,001$	höchst signifikant	***

3 Ergebnisse

3.1 Posttraumatische radiometrische Parameter

3.1.1 Posttraumatische Kyphose bzw. Kyphosestellung

Durch die Wirbelfrakturen kam es zu einer traumatischen Achsabweichung im sagittalen Wirbelsäulenprofil, bei den meisten Frakturen ($n=78$; 84,8%) lag aufgrund der ventralen Höhenminderung des frakturierten Wirbels (Keilwirbel) eine Kyphosestellung (negatives Vorzeichen) vor, die sog. posttraumatische Kyphose (Grund-Deckplatten-Winkel, GDW). Im Mittel lag der GDW bei -10 Grad (Standardabweichung 11,4; Minimum -45° , Maximum 30°).

Der GDW beim Frakturtyp B unterscheidet sich mit $-3,9^\circ$ sehr signifikant zum Frakturtyp C mit $-12,3^\circ$ ($p=0,002$). Die Darstellung der posttraumatischen Kyphose im Bezug zum Frakturtyp erfolgt im Fehlerbalkendiagramm in Abbildung 22.

Abbildung 22: Posttraumatische Kyphose in Abhängigkeit der Frakturtypen B und C nach der Meyer-Fraktureklassifikation

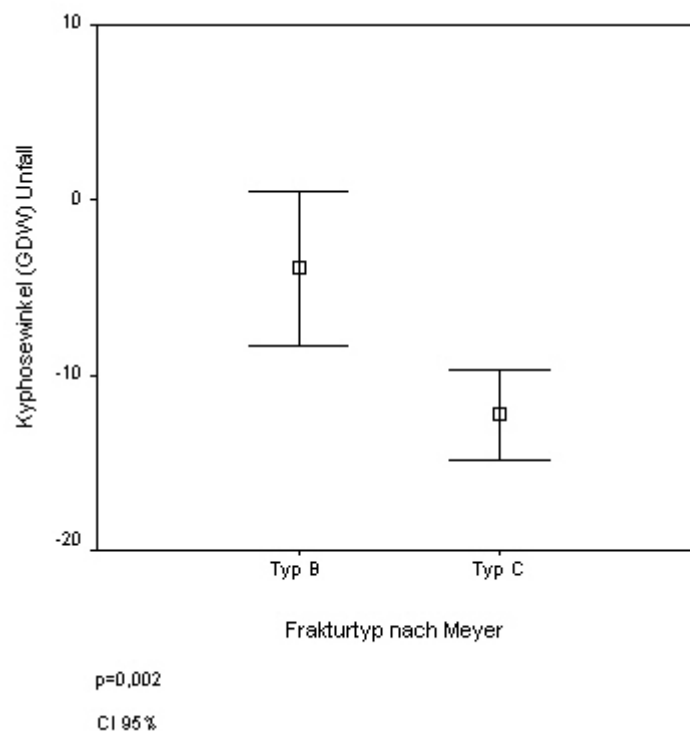


Abb. 22: Darstellung des sehr signifikanten ($p=0,002$) Unterschiedes beider Frakturtypen B und C nach Meyer bezüglich der posttraumatischen Kyphosestellung. Die posttraumatische Kyphose beim Typ C ist mit 12° deutlich höher als 4° beim Typ B.

3.1.2 Posttraumatischer Körperwinkel

Der Körperwinkel des verletzten Wirbels ist mit durchschnittlich -14 Grad (Standardabweichung 6,8°; Minimum -28°, Maximum 5°) deutlich höher als der Kyphosewinkel (GDW).

Es zeigte sich auch beim Körperwinkel des frakturierten Wirbels ein höchst signifikanter Unterschied (Abb. 23) in Bezug zu den Frakturtypen der Meyer-Klassifikation: der Körperwinkel beim Typ B beträgt -10,5°, beim Typ C -16,2° ($p < 0,001$).

Abbildung 23: Posttraumatischer Winkel in Abhängigkeit vom Verletzungsgrad des Wirbelkörpers nach der Meyer-Klassifikation

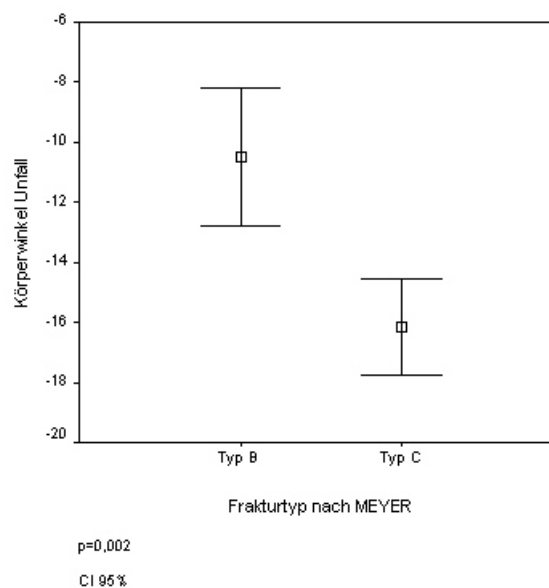


Abb. 23: Darstellung des höchst signifikanten ($p < 0,001$) Unterschiedes beider Frakturtypen B und C nach Meyer bezüglich des posttraumatischen Körperwinkel. Der Körperwinkel des Frakturtyp B nach Meyer beträgt im Durchschnitt 10,5°, beim Typ C dagegen 16°.

3.1.3 Sagittaler Index oder Beckscher Index posttraumatisch

Der sagittale Index des verletzten Wirbelkörpers betrug im Mittel 0,68 (Standardabweichung 0,15) und zeigt eine höchst signifikante ($p < 0,001$) hohe Korrelation ($r = 0,9$) mit dem Körperwinkel, auf eine getrennte Betrachtung des Körperwinkels vom sagittalen Index des verletzten Wirbelkörpers wurde deshalb verzichtet. Im Folgenden wird nur der Körperwinkel erwähnt. In der Abbildung 24 graphische Darstellung der direkten Proportionalität zwischen dem sagittalen Index und dem Körperwinkel im Streudiagramm, als Beispiel zum Unfallzeitpunkt sowie nach Abschluss der Frakturbehandlung.

Abbildung 24: Darstellung Korrelation Körperwinkel und sagittaler Index

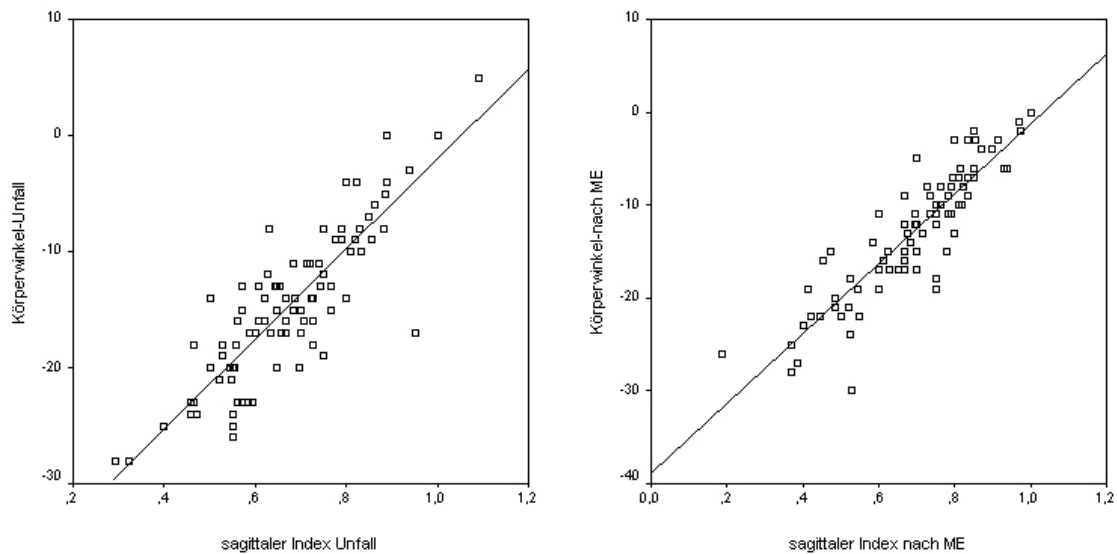


Abb. 24: Die Streudiagramme zeigen Beispiele der höchst signifikant hohen direkten Korrelation ($r=0,9$; $p<0,001$) zwischen dem Körperwinkel und dem sagittalen oder auch Beckschen Index; linke Abbildung zum Zeitpunkt des Unfalls, rechte Abbildung nach der Materialentfernung.

3.1.4 Posttraumatischer Winkel des Zwischenwirbelraumes

Der Winkel des Zwischenwirbelraumes angrenzend an den verletzten Wirbel nach dem Unfall lag im Durchschnitt bei $4,7^\circ$ (Standardabweichung $10,1^\circ$; Minimum -45° , Maximum 36°) und unterscheidet sich nicht signifikant ($p=0,23$) bezüglich der Frakturtypen, er beträgt beim Typ B $6,6^\circ$ und beim Typ C $3,9^\circ$.

3.1.5 Posttraumatischer Skoliosewinkel

Da bedeutende skoliotische Fehlstellungen bei den untersuchten Patienten zu keinem Zeitpunkt bestanden und auch in anderen Untersuchungen über Wirbelfrakturbehandlungen bedeutende Achsabweichungen im frontalen Wirbelsäulenprofil nicht auftraten [71,72,75], wurde der Skoliosewinkel in der vorliegenden Arbeit ebenfalls nicht bestimmt, auch im Hinblick auf die häufig nicht vorliegenden a. p. Aufnahmen, da in vielen Fällen zur postoperativen Kontrolle nur eine seitliche Röntgenaufnahme der Wirbelsäule angefertigt worden ist.

3.2 Ausmaß der operativen Korrektur

Die Kyphosestellung (GDW) wurde im Durchschnitt um 8° (Minimum 0°, Maximum 36°) operativ korrigiert. Die intraoperative Aufrichtung der posttraumatischen Kyphose differiert mäßig aber sehr signifikant ($p=0,009$) bezüglich des Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation: bei Frakturen des Typ B wurde im Mittel um 6°, bei Frakturen des Typ C um 9° korrigiert.

Der Körperwinkel des verletzten Wirbels wurde im Durchschnitt um 6° korrigiert (Minimum 0°, Maximum 21°). Auch hier ist der Unterschied zwischen den beiden Frakturtypen B und C sehr signifikant ($p=0,01$): beim Frakturtyp B wurde um 4°, beim Typ C um 7° reponiert

Der Winkel des Zwischenwirbelraumes änderte sich durch die Operation im Durchschnitt um 6° (Minimum 0°, Maximum 44°). Entsprechend der Kyphosestellung und dem Körperwinkel konnte ebenfalls ein signifikanter ($p=0,05$) Unterschied zwischen den einzelnen Frakturtypen nachgewiesen werden, Typ B wurde im Mittel um 5°, Typ C um 7° aufgerichtet.

3.3 Repositionsverlust oder Korrekturversagen

Der Verlust der erreichten Korrekturstellung ist im eigentlichen Sinne eine Komplikation der Operation, da es sich hierbei aber um die eigentliche Fragestellung der vorliegenden Arbeit handelt, wird der postoperative Korrekturverlust im Folgenden getrennt von den Komplikationen aufgezeigt.

3.3.1 Repositionsverlust der Kyphosestellung bzw. der Korrekturstellung

Wenn man die korrigierte Kyphosestellung (Grund-Deckplatten-Winkel, GDW) im Verlauf ungefähr eines Jahres zwischen dem Zeitpunkt direkt nach der Implantation des Fixateur interne bis unmittelbar vor der Materialentfernung im seitlichen Röntgenbild betrachtet, zeigt sich im Gesamtdurchschnitt aller Frakturen eine Zusammensinterung bzw. ein Verlust der erreichten Korrekturstellung im Mittel von 9° (Standardabweichung 5,7°; Minimum 0, Maximum 24°).

Die Untersuchung zeigt deutlich, dass die erneute Achsabweichung der Wirbelsäule nach der Frakturversorgung mit einem Fixateur interne im Wesentlichen vom Schweregrad der Verletzung des Wirbelkörpers abhängt und damit bereits vor der Operation absehbar ist:

Unterteilt man die instabilen Wirbelfrakturen nach der einfach anzuwendenden „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer in Typ B und C und betrachtet den Korrekturverlust der Kyphosestellung (GDW) entsprechend des Frakturtyp, so zeigt sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p<0,001$) bezüglich der Sinterungsrate zwischen den Frakturtypen B und C (Abb.

25). Während die Kyphosestellung (GDW) bei Frakturen vom Typ B im Mittel nur um 4° (Standardabweichung $3,3^\circ$) zusammensintert, kommt es beim Frakturtyp C zu einer Sinterung im Durchschnitt von 12° (Standardabweichung $4,9^\circ$).

Zum anderen zeigt die Untersuchung auch deutlich den Zeitverlauf des Zusammensinterns der erreichten Korrekturstellung (Abb. 25). Die gemessene progrediente Achsabweichung nach Reposition und Stabilisation von Wirbelfrakturen mit einem Fixateur interne von 4° beim Typ B und 12° beim Typ C der Meyer-Klassifikation tritt innerhalb des 1. Jahres nach der Implantation des Fixateur interne bis zur Explantation auf. Nach der Materialentfernung ist der gemessene Korrekturverlust der Kyphosestellung vernachlässigbar gering, er beträgt im Durchschnitt 1° (Standardabweichung 2° ; Minimum 0° , Maximum 14°). Der Unterschied zwischen den einzelnen Frakturtypen B und C ist unwesentlich und nicht signifikant (Abb.25).

Abbildung 25: Zeitverlauf des Korrekturverlustes und Abhängigkeit vom Frakturtyp

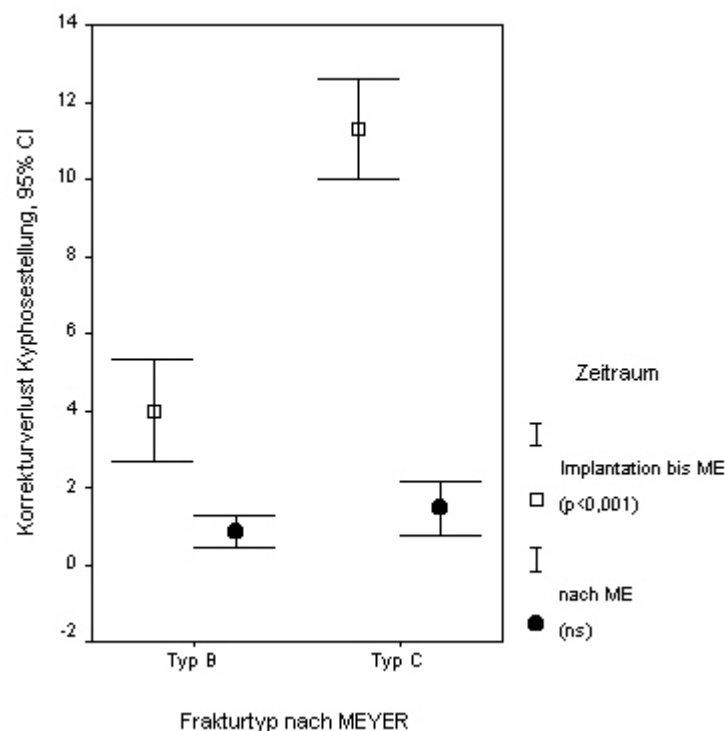


Abb. 25: Darstellung des Korrekturverlustes in Abhängigkeit von Frakturtyp und Zeitpunkt. Nach Entfernung des Materials ändert sich bei beiden Frakturtypen die Kyphosestellung nicht mehr wesentlich. Der Hauptkorrekturverlust tritt vor der Materialentfernung auf und unterscheidet sich höchst signifikant ($p < 0,001$) bezüglich vom Frakturtyp der Meyer-Klassifikation: Typ B-Frakturen sintern durchschnittlich nur um 4° zusammen, Typ C-Frakturen dagegen um ca. 12° .

Der gesamte Verlauf der posttraumatischen Kyphose (GDW) über einen durchschnittlichen Zeitraum von 15 Monaten (vom Unfall bis nach der Materialentfernung) ist in Abb. 26 nach dem Frakturtyp unterteilt dargestellt. Es wurde eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen durchgeführt. Die posttraumatische Kyphose (GDW) unterscheidet sich höchst signifikant bezüglich des Frakturtyps nach der Meyer-Klassifikation ($p=0,001$).

Abbildung 26: Verlauf der posttraumatischen Kyphose bzw. der Korrekturstellung in Abhängigkeit vom Verletzungsgrad

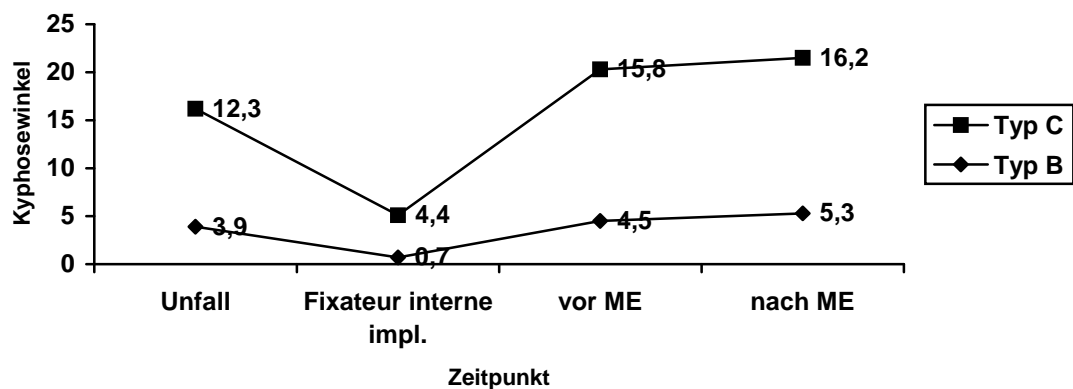


Abb. 26: Darstellung des Verlaufes der posttraumatischen Kyphose (Grund-Deckplatten-Winkel) in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation. Der Verlust der erreichten Korrekturstellung unterscheidet sich höchst signifikant ($p=0,001$) zwischen den Frakturtypen B und C.

3.3.2 Repositionsverlust des Körperwinkels und des Winkels des Zwischenwirbelraumes

Betrachtet man alle Frakturen gemeinsam, so ist die Änderung des Winkels des Zwischenwirbelraumes im 1. Jahr nach der Fixateur interne-Implantation bis zur Materialentfernung mit 7° höher als die entsprechende Änderung des Körperwinkels, welche im selben Zeitraum im Durchschnitt nur 4° beträgt.

Auch beim Körperwinkel und beim Winkel des Zwischenwirbelraumes ist eine Abhängigkeit vom Verletzungsgrad des Wirbelkörpers hinsichtlich des Korrekturverlustes zu erkennen, der Unterschied der Sinterungsraten bezüglich der einzelnen Frakturtypen B und C nach der Meyer-Klassifikation ist auch hier sehr bzw. höchst signifikant (Abb. 27). Der Körperwinkel sintert bei einer Fraktur vom Typ B im Mittel um 2° (Standardabweichung $2,3^\circ$), bei einer Fraktur vom Typ C um durchschnittlich 5° (Standardabweichung $5,1^\circ$) zusammen ($p=0,003$). Der Winkel des ZWR

sintert beim Frakturtyp B durchschnittlich um 4° (Standardabweichung $3,4^\circ$), beim Typ C im Mittel um 8° (Standardabweichung $4,8^\circ$) zusammen ($p < 0,001$). Auch wie bei der Kyphosestellung (Grund-Deckplatten-Winkel) tritt der Korrekturverlust des Körperwinkels und des Winkels des ZWR im 1. Jahr nach der Versorgung mit einem Fixateur interne auf.

Nach der Materialentfernung ändert sich der Körperwinkel (Abb. 27) bei beiden Frakturtypen nur um ca. 1° ($p = 0,2$). Der Winkel des ZWR (Abb. 27) unterscheidet sich bezüglich des Zusammensinterns nur unwesentlich zwischen den Frakturtypen: Korrekturverlust beim Frakturtyp B durchschnittlich 1° , bei Frakturen vom Typ C durchschnittlich 2° Korrekturverlust ($p = 0,04$).

Abbildung 27: Vergleich der Sinterung des Körperwinkels und des Winkels des ZWR in Abhängigkeit von Frakturtyp und Zeitpunkt

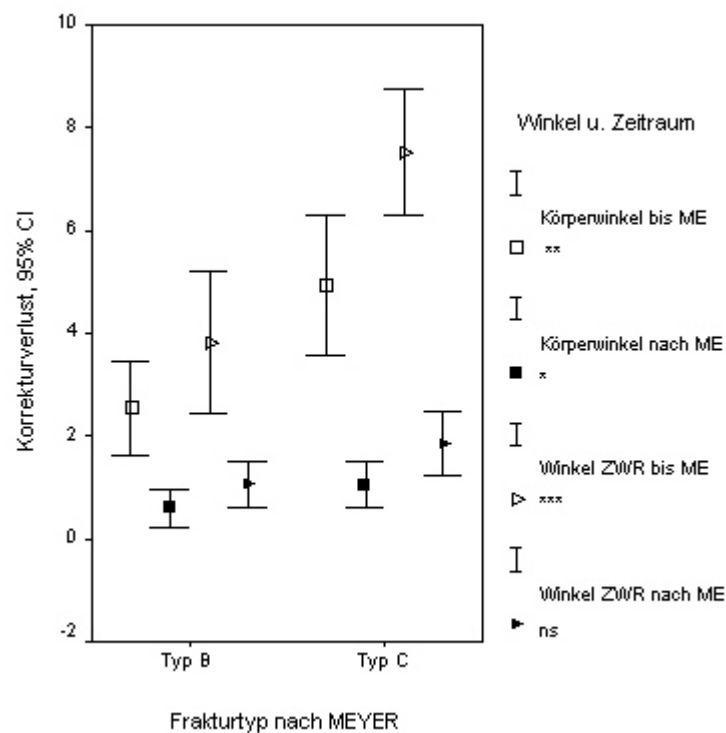
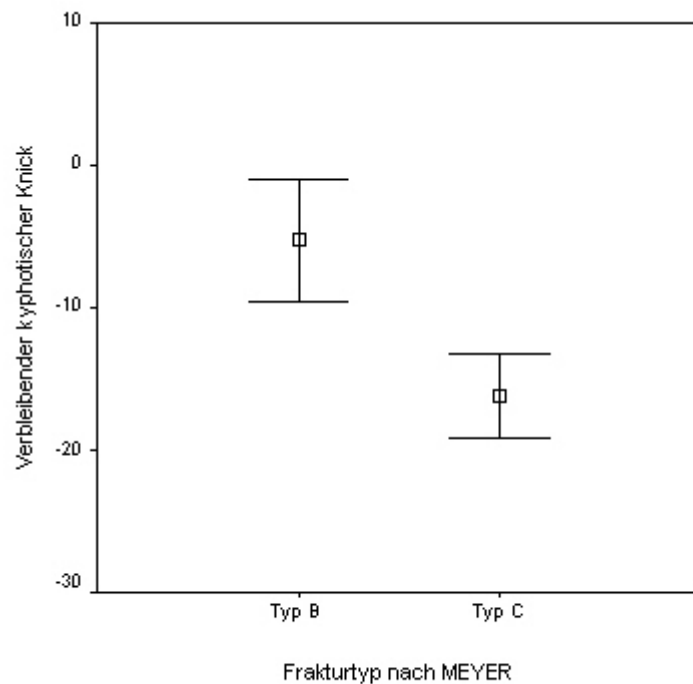


Abb. 27: Vergleich der Sinterung des Körperwinkels und des Winkels des ZWR in Abhängigkeit vom Frakturtyp und vom Zeitpunkt. Der Verlust des korrigierten Winkels des ZWR ist immer höher als der Korrekturverlust des Körperwinkels. Er beträgt beim Frakturtyp B 4° gegenüber 2° und beim Typ C um 8° gegenüber 5° . Nach der Materialentfernung ändern sich die Winkel nur unwesentlich um $1-2^\circ$.

3.3.3 Das radiologische Behandlungsergebnis: Die verbleibende posttraumatische Kyphose

Der für die Biomechanik der Wirbelsäule entscheidende verbleibende kyphotische Knick (Kyphosestellung, GDW) nach Abschluss der Frakturbehandlung differiert entsprechend des Verlustes der korrigierten Achsenstellung der Wirbelsäule ebenfalls höchst signifikant ($p < 0,001$) hinsichtlich des Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation. Frakturen vom Typ B weisen einen Winkel der kyphotischen Fehlstellung von durchschnittlich nur 5° auf, wohingegen Frakturen vom Typ C eine kyphotische Fehlstellung im Mittel von 16° (Abb. 28) nach Abschluss der Frakturbehandlung aufweisen.

Abbildung 28: Verbleibende kyphotische Fehlstellung in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation



$p < 0,001$, CI 95 %

Abb. 28: Verbleibende kyphotische Fehlstellung nach der Materialentfernung in Abhängigkeit des Frakturtyp der Meyer-Klassifikation. Es zeigt sich ein deutlicher und höchst signifikanter ($p < 0,001$) Unterschied zwischen dem Frakturtyp B und C: Typ B weist eine kyphotische Fehlstellung von nur 5° auf, Typ C dagegen von 16° .

3.4 Präoperative Einflussgrößen auf den Korrekturverlust der Kyphosestellung

3.4.1 Alter und Geschlecht

Das Geschlecht hat keinen Einfluß auf die Sinterungsrate der Kyphosestellung (Grund-Deckplatten-Winkel). Bei den weiblichen Patienten änderte sich der GDW im Mittel um $9,5^\circ$ im Verlauf nach Fixateur-Implantation bis zur Materialentfernung, bei den männlichen Patienten im Durchschnitt um $8,9^\circ$, der Unterschied ist gering und nicht signifikant ($p > 0,5$).

Auch das Alter der Patienten am Unfalltag nahm keinen Einfluß auf den Korrekturverlust der Kyphosestellung. In der Patientengruppe ≤ 60 Jahre änderte sich der GDW um $7,1^\circ$, in der Patientengruppe über 60 Jahre im Mittel um $9,5^\circ$, der Unterschied ist statistisch nicht signifikant ($p = 0,08$).

Die univariante mehrfaktorielle Varianzanalyse zeigt ebenfalls den nicht signifikanten Einfluß des Alters ($p = 0,12$), den nicht signifikanten Einfluß des Geschlechts ($p = 0,75$) und die nicht signifikante Wechselwirkung zwischen Alter und Geschlecht ($p = 0,12$) auf die Sinterungsrate der erreichten Korrekturstellung.

3.4.2 Intraspinale Kompression durch Hinterkantenfragment

Ein posttraumatisches intraspinales Knochenfragment beeinflusst das Ausmaß der späteren Sinterung der Korrekturstellung (GDW) nicht. Teilt man die Patienten in eine Gruppe mit und ohne posttraumatisches intraspinales Fragment ein, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Sinterungsraten. Beim Frakturtyp B nach der Meyer-Klassifikation sintert die Korrekturstellung (GDW) in der Gruppe ohne ein intraspinales Fragment um durchschnittlich 3° , in der Gruppe mit einem intraspinalem Fragment um im Mittel 4° ($p = 0,5$) zusammen. Bei Wirbelfrakturen vom Typ C verhält es sich ähnlich: der Verlust der korrigierten Achsenstellung der Wirbelsäule beträgt ca. $10,3^\circ$ mit und ca. $11,6^\circ$ ohne ein intraspinales Fragment ($p = 0,7$).

3.4.3 Posttraumatische Kyphose

Die posttraumatische Fehlstellung der Wirbelsäule im sagittalen Profil (Kyphosestellung, Grund-Deckplatten-Winkel) direkt nach dem Unfall beeinflusst den Verlust der reponierten Achsenstellung: je größer die posttraumatische Fehlstellung der Wirbelsäule ist, desto mehr sintert die korrigierte Kyphosestellung (negatives Vorzeichen bei Kyphose) zusammen (Pearson-Korrelationskoeffizient $= -0,27$; $p = 0,01$), es zeigt sich eine direkte Proportionalität.

Unterteilt man die Frakturen in Wirbelverletzungen mit einer posttraumatischen Kyphose von $\geq 15^\circ$ und in Frakturen von $< 15^\circ$ posttraumatischer Kyphose, unterscheiden sich die beiden

Ergebnisse

Gruppen von Frakturen sehr signifikant hinsichtlich des postoperativen Korrekturverlustes der Achsenstellung, die Ergebnisse sind in der Tabelle 7 gegenübergestellt:

Tabelle 7: Einfluß der posttraumatischen Kyphose auf den Korrekturverlust

Posttraumatische Kyphose von	$\geq 15^\circ$	$<15^\circ$
Sinterungsrate der Kyphosestellung	12°	8°

$p=0,004^{**}$

3.4.4 Posttraumatischer Körperwinkel

Der Körperwinkel des verletzten Wirbelkörpers nach dem Unfall zeigt ebenfalls eine direkte Proportionalität zur späteren Sinterungsrate der Kyphosestellung im Verlauf nach Implantation des Fixateur interne bis zur Materialentfernung (Pearson-Korrelationskoeffizient= -0,25; $p=0,02$; bei Keilwirbel negatives Vorzeichen).

Teilt man die Frakturen ein in Frakturen mit einem posttraumatischen Körperwinkel von $\geq 15^\circ$ bzw. $\geq 20^\circ$ (Keilwirbel) und in Frakturen mit einem jeweils geringeren kyphotischen Körperwinkel, so zeigen die Gruppen der Frakturen mit dem höheren kyphotischen Körperwinkel zwar auch eine höhere Sinterungsrate der erreichten Korrekturstellung, dieser Unterschied ist aber nicht statistisch signifikant (Tabelle 8).

Tabelle 8: Einfluß des posttraumatischen Körperwinkels auf den Korrekturverlust

Posttraumatischer Körperwinkel	$\geq 15^\circ$	$<15^\circ$	$\geq 20^\circ$	$<20^\circ$
Sinterungsrate der Korrekturstellung	10°	8°	11°	8°

$p>0,05$, ns

3.4.5 Anzahl der verletzten Säulen

Die Anzahl der verletzten Säulen des Wirbelkörpers ist ein einfach zu bestimmendes und wichtiges Unterscheidungsmerkmal der Typenunterteilung der Meyer-Klassifikation, welches das Ausmaß der Zusammensinterung der reponierten Achsenstellung der Wirbelsäule, die Korrekturstellung (Kyphosestellung, Grund-Deckplatten-Winkel), wesentlich beeinflusst (Abb. 29). Bei Verletzungen der vorderen und mittleren Säule des Wirbelkörpers ändert sich die operativ erreichte Korrekturstellung im Durchschnitt um 6°, bei zusätzlicher Verletzung der hinteren Säule kommt es zu einer Sinterung von durchschnittlich 11°, der Unterschied ist höchst signifikant ($p < 0,001$).

Abbildung 29: Einfluß der Anzahl der verletzten Säulen auf den Korrekturverlust

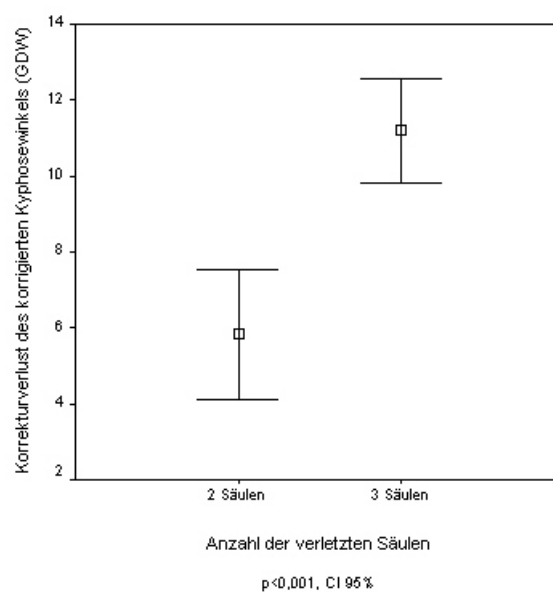


Abb. 29: Darstellung der Abhängigkeit des Korrekturverlustes von der Anzahl der verletzten Säulen. Bei 2 verletzten Säulen, der vorderen und der mittleren Säule, beträgt der Korrekturverlust nur 6°, bei einer Beteiligung aller 3 Säulen kommt es dagegen zu einem Korrekturverlust der Kyphosestellung (GDW) von 11°, der Unterschied ist höchst signifikant ($p < 0,001$).

3.4.6 Osteoporose

Die Osteoporose spielt sicherlich eine wichtige Rolle bei der Stabilisation einer Wirbelsäulenfraktur. Im Untersuchungszeitraum der vorliegenden Studie erhielten Patienten mit einer Osteoporose keinen Fixateur interne zur Behandlung einer instabilen Fraktur des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule.

Konnte intraoperativ bei mangelnder Knochenfestigkeit kein fester Schraubensitz erzielt werden, wurde die Operation abgebrochen. Die Patienten wurden dann nach einer entsprechenden Bettruhe mit einem Korsett mobilisiert.

3.5 Operative Einflussgrößen des Korrekturverlustes der Kyphosestellung

3.5.1 Einfluß der operativen Korrektur auf den Repositionsverlust

Der Einfluß des Ausmaßes der operativen Aufrichtung der posttraumatischen Fehlstellung während der Implantation des Fixateur interne auf den späteren Repositionsverlust ist vernachlässigbar:

Bei Wirbelverletzungen vom Typ B der Meyer-Klassifikation zeigt sich zwar eine sehr signifikante positive Korrelation (Abb. 30) zwischen dem Ausmaß der operativen Aufrichtung der posttraumatischen Kyphose und des späteren Korrekturverlustes ($r=0,6$; $p=0,002$), aufgrund aber des eher geringen Ausmaßes des Repositionsverlustes bei Typ B-Verletzungen ist dies jedoch nicht relevant. Bei den höhergradigen Typ C-Verletzungen des Wirbelkörpers korreliert das Ausmaß der operativen Korrektur nicht mit der späteren Sinterungsrate ($r=0,2$; ns; Abb. 30)

Abbildung 30: Korrelation Reposition und Korrekturverlust entsprechend dem Frakturtyp nach der Meyer-Klassifikation

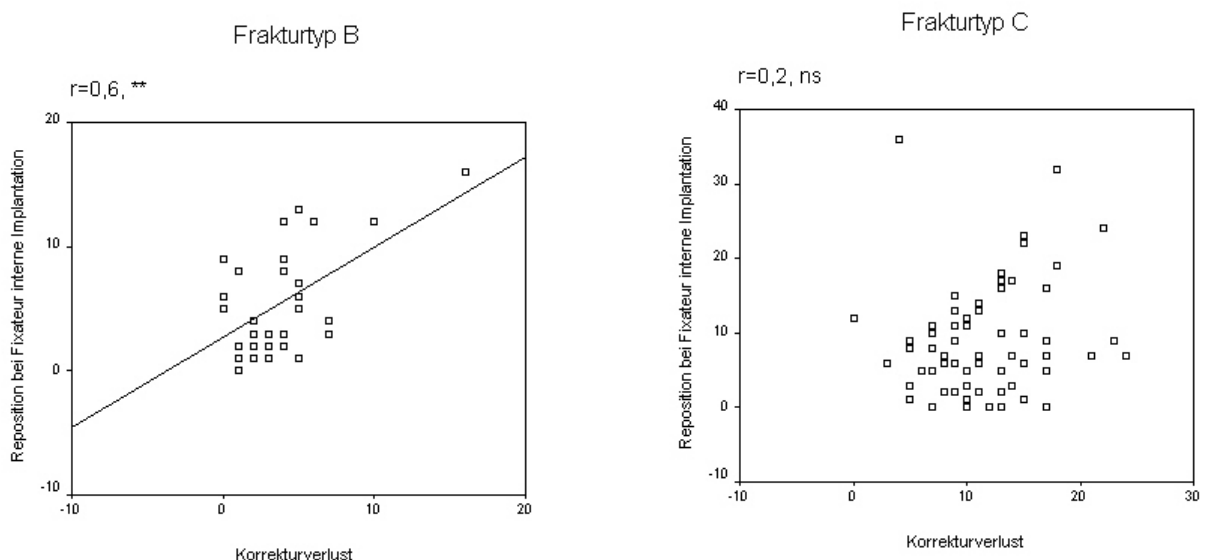


Abb. 30: Darstellung der Korrelation zwischen operativer Reposition und Korrekturverlust entsprechend dem Frakturtyp der Meyer-Klassifikation in Streudiagrammen: linkes Diagramm Fraktur Typ B mit einer sehr signifikanten und positiven Korrelation, bei geringem Korrekturverlust aber nicht relevant; rechtes Diagramm Fraktur Typ C, keine Korrelation

3.5.2 Fixationssystem

Es wurde 17-mal das StrykerTM-System, 55-mal das KlugerTM- und 20-mal das TenorTM-Fixationssystem implantiert. Die Fähigkeit der Stabilisation nach Reposition der posttraumatischen Wirbelsäulenfehlstellung durch die genannten Fixationssysteme ist vergleichbar: Das Ausmaß des Zusammensinterns der erreichten Korrekturstellung nach Implantation der o.g. Systeme unterscheidet sich nicht signifikant, es beträgt beim Stryker im Mittel 10° , beim Kluger 9° und beim Tenor-System 8° ($p=0,6$).

3.5.3 *Ausmaß der Dekompression*

Das Ausmaß der operativen Dekompression des Spinalkanals während der Implantation des Fixateur interne nahm keinen statistisch signifikanten Einfluß auf den postoperativen Korrekturverlust. Die Patienten wurden hinsichtlich des Ausmaßes der Dekompression in 2 Gruppen aufgeteilt: 1. Gruppe Laminektomie oder Hemilaminektomie, 2. Gruppe Teilhemilaminektomie oder interlaminäre Fensterung bzw. keine Dekompression. In beiden Gruppen sintert beim Frakturtyp B die Kyphosestellung (Grund-Deckplatten-Winkel) im Verlauf nach Fixateur-Implantation bis zur Materialentfernung um durchschnittlich 4° zusammen ($p=1,0$), beim Frakturtyp C in beiden Gruppen um ca. 11° ($p=0,6$).

3.5.4 *Rekonstruktion der ventralen Säule*

Wie bereits aufgeführt, wurden verschiedene Verfahren zur Rekonstruktion bzw. zum Aufbau der ventralen Säule über den dorsalen Zugang während der Implantation des Fixateur interne angewandt mit dem Ziel, den physiologischen Kompressionskräften besser zu widerstehen, um so das korrigierte sagittale Wirbelsäulenprofil aufrecht zu erhalten. Um festzustellen, welchen Einfluß die verschiedenen Verfahren auf den Erhalt der Korrekturstellung haben, wurden 3 Gruppen von Patienten mit den verschiedenen Arten der Rekonstruktion der ventralen Säule gebildet: 1. Gruppe autologer Aufbau des angrenzenden Zwischenwirbelraum (interkorporelle Spongiosaplastik) 2. Gruppe transpedikuläre Spongiosaplastik des Keilwirbels 3. Gruppe keine Rekonstruktion der vorderen Säule. Diese Gruppen wurden hinsichtlich des Ausmaßes des späteren Verlustes der erreichten Korrekturstellung (Kyphosestellung, Grund-Deckplatten-Winkel) verglichen. Die ANOVA-Analyse und der anschließende Post-Hoc-Test zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen der verschiedenen Verfahren zur Rekonstruktion der ventralen Säule bezüglich des Verlustes der korrigierten Kyphosestellung gibt.

Werden die Wirbelfrakturen hinsichtlich der Schwere der Verletzung nach der Meyer-Klassifikation getrennt zwischen Typ B und Typ C analysiert, kann gleichermaßen gezeigt werden, dass die Patienten von einer inter- bzw. intrakorporellen Spongiosaplastik bezüglich der Stabilisierungsfähigkeit der korrigierten Achsenstellung der Wirbelsäule nicht profitieren; bei der leichteren Frakturform Typ B kommt es sogar nach einem transpedikulären Wirbelkörperaufbau zu einer signifikant höheren Sinterungsrate der Kyphosestellung (GDW) von 8° ($p<0,05$). Zwischen den anderen beiden Gruppen der Rekonstruktionsmethoden der vorderen Säulen des Wirbelkörpers, der Fusion des Zwischenwirbelraumes mit autologen Knochenmaterial und keiner Rekonstruktion der vorderen Säule, zeigt sich bei Frakturen vom Typ B kein signifikanter Unterschied (2° bzw. 4°; $p=0,8$) bezüglich der Sinterungsrate. Typ C-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant innerhalb der gebildeten Gruppen

hinsichtlich des Korrekturverlustes, es kommt zu einer Zusammensinterung zwischen 11-13° ($p=0,7$).

Betrachtet man nun die Gruppe der interkorporellen Fusion durch autologes Knochenmaterial isoliert und unterscheidet einerseits zwischen eingebrachter Beckenkammpongiosa und andererseits zwischen autologem Knochenmaterial aus dem Zugangsweg zur Fusion des Zwischenwirbelraumes, zeigt sich bei dem höhergradigen Verletzungsmuster des Frakturtyp C der Meyer-Klassifikation ein höchst signifikanter Unterschied zwischen den beiden genannten Verfahren (Abb. 31): während bei der Fusion mit Beckenkammpongiosa ($n=9$) die Kyphosestellung (GDW) im Durchschnitt um 8° zusammensintert, kommt es bei den Patienten mit einer Fusion des ZWR durch autologes Knochenmaterial aus dem Zugangsbereich ($n=30$) zu einer Sinterung von im Durchschnitt 13° ($p<0,001$). Bei dem niedergradigen Verletzungsmuster des Wirbelkörpers, Frakturtyp B, gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Arten des Knochens der interkorporellen Fusion bezüglich der Sinterungsrate, diese beträgt im Durchschnitt ca. 3,5° ($p=0,7$). Einschränkung wird auf die teilweise geringe Fallzahl in den einzelnen Behandlungsgruppen hingewiesen.

Abbildung 31: Einfluß der Herkunft des autologen Knochens zur interkorporellen Fusion auf den Korrekturverlust in Abhängigkeit von der Schwere der Verletzung

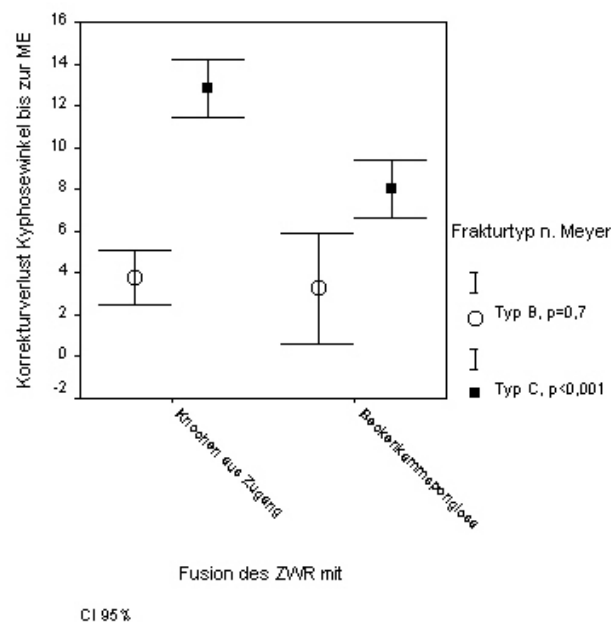


Abb. 31: Darstellung der Abhängigkeit des Korrekturverlustes von der Herkunft des autologen Knochens zur interkorporellen Fusion. Bei einer niedergradigen Verletzung, Typ B nach der Meyer-Klassifikation, beeinflusst die Herkunft des autologen Knochens nicht den Korrekturverlust, die Unterschiede bezüglich der Sinterung der Kyphosestellung (GDW) sind gering und nicht signifikant ($p=0,7$). Dagegen ist bei höhergradigen Wirbelerkrankungen, Frakturtyp C, eine Beeinflussung des Korrekturverlustes zu erkennen: bei Verwendung von Spongiosa aus dem Zugangsweg sintert das Wirbelsegment um durchschnittlich 13° zusammen, bei Verwendung von Beckenkammpongiosa dagegen zeigt sich eine Sinterung von durchschnittlich 8°, der Unterschied ist höchst signifikant ($p<0,001$).

3.6 Klinisch-neurologischer Verlauf

3.6.1 Neurologischer Status

Im Verlauf ungefähr eines Jahres nach dem Unfall und vor der Materialentfernung zeigten die meisten Patienten (n=85; 92,4%) einen unauffälligen neurologischen Befund, Frankel E. 6 Patienten (6,5%) boten ein geringes neurologisches Defizit, Frankel D. Eine Patientin (1,1%) wies unverändert das Bild eines kompletten Querschnittssyndroms, Frankel A, auf.

Auch nach der Materialentfernung, welche bei 91,3% der Patienten (n=84) erfolgte, änderte sich der neurologische Status zumeist nicht, 91,7% der Patienten (n=77) zeigten kein neurologisches Defizit (Frankel E), bei 1 Patienten trat eine neurologische Verbesserung nach der Materialentfernung auf, nachdem es vermutlich durch eine Pedikelschraubenfehlage zu einer Verschlechterung gekommen war. Nur 7 Patienten (8,3%) boten ein leichtes neurologisches Defizit (Frankel D). Eine stärkere neurologische Beeinträchtigung nach der Materialentfernung fand sich bei keinem Patienten.

Insgesamt ist es durch die operative Versorgung der Wirbelkörperfrakturen einschließlich der Materialentfernung bei 5 Patienten (5,4%) zu einer Verbesserung des neurologischen Status um 1 Grad der Frankel-Klassifikation gekommen, bei 1 Patient (1,1%) sogar um 3 Grade der Frankel-Klassifikation. 5 Patienten (5,4%) zeigten eine geringe Verschlechterung des neurologischen Befundes um 1 Grad der Frankel-Klassifikation, von diesen hatten 4 Patienten eine bleibende kyphotische Fehlstellung von über 10°. Kein Patient zeigte eine höhergradige Verschlechterung des neurologischen Befundes durch die Operationen. 81 Patienten (88%) zeigten keine Änderung des neurologischen Status.

3.6.2 Schmerzen

Ungefähr 1 Jahr nach dem Unfall unmittelbar vor der Materialentfernung waren 80% der Patienten (n=74) schmerzfrei oder klagten nur gelegentlich über einen minimalen Schmerz, Schmerzmittel mussten nicht eingenommen werden. Dies entsprach der Schmerzklassifikation nach Denis P1 und P2. Hingegen berichteten 13 Patienten (14,1%) über einen mäßigen Schmerz und gelegentlichen Schmerzmittelbedarf, eine Arbeitsunfähigkeit lag nicht vor, dies entsprach in der Schmerzklassifikation nach Denis P3. Drei Patienten gaben starke Schmerzen und Beeinträchtigungen im Alltag mit gelegentlicher Arbeitsunfähigkeit an (P4 nach Denis-Schmerzklassifikation). 2 Patienten (2,2%) klagten über einen starken Dauerschmerz mit regelmäßiger Schmerzmedikation (P5 nach Denis).

Vergleicht man die Patientengruppe, die über keinen oder gelegentlichem minimalen (P1 und P2 nach Denis) Schmerz klagte mit den unter stärkeren Schmerzen (P3, P4 und P5 nach Denis) leidenden Patienten und korreliert die beiden Gruppen mit dem Winkel der Kyphosestellung (Grund-Deckplatten-Winkel) und der Sinterungsrate der Korrekturstellung, findet man bezüglich des Kyphosewinkels keine Korrelation mit der Schmerzintensität. Bei den Patienten ohne und mit Schmerzen beträgt der Kyphosewinkel $12,1^\circ$ bzw. $12,8^\circ$ ($p=0,9$). Bezüglich der Sinterungsrate zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied beider Gruppen. Die Patienten ohne oder mit minimalen Schmerzen zeigen eine Sinterungsrate von durchschnittlich $8,6^\circ$ gegenüber $11,1^\circ$ bei den Patienten mit stärkeren Schmerzen ($p=0,16$).

Nach der Entfernung des Fixationssystems waren 71 Patienten (84%) im Wesentlichen schmerzfrei (P1 und P2 nach Denis), 12 Patienten (13,1%) gaben einen mäßigen (P3 nach Denis) und 2 Patienten (2,2%) einen starken Schmerz (P4 nach Denis) an. Bei keinem Patienten bestand weiterhin ein ständiger Dauerschmerz (P5 nach Denis).

Auch hier zeigte kein signifikanter Unterschied zwischen Schmerzintensität, Kyphosestellung und Gesamtkorrekturverlust nach der Materialentfernung. Bei den Patienten ohne oder mit minimalen Beschwerden betrug der Kyphosewinkel nach der Materialentfernung durchschnittlich 12° , wohingegen Patienten mit Schmerzen eine Kyphosestellung von ca. 16° aufwiesen ($p=0,35$). Der Gesamtkorrekturverlust betrug bei Patienten ohne oder minimalem Schmerz $8,6^\circ$ und bei Patienten mit stärkerem Schmerz 11° ($p=0,3$).

3.6.3 Arbeitsfähigkeit

Die Analyse der Arbeitsfähigkeit nach Abschluss der Frakturbehandlung (nach der Materialentfernung) ist leider nur eingeschränkt möglich, da aus den vorliegenden Unterlagen die Angaben über eine Arbeitsfähigkeit bzw. Arbeitsunfähigkeit von 27 Patienten (32%) nicht zu entnehmen waren. Auch waren 14 Patienten (16,5%) zum Zeitpunkt des Unfalls bereits Altersrentner, auf die Dokumentation ihrer vermeintlichen Arbeitsfähigkeit wurde verzichtet. So konnten von 85 Patienten (92%), bei denen eine Materialentfernung durchgeführt worden ist, nur 44 Patienten (52%) hinsichtlich ihrer Arbeitsfähigkeit nach Abschluss der Frakturbehandlung ausgewertet werden.

Von den verbleibenden 44 Patienten, bei denen das Material wieder entfernt wurde und Angaben über die Arbeitsfähigkeit aus den Unterlagen entnommen werden konnten bzw. sich nicht bereits

Ergebnisse

im Rentenalter befanden, waren 73% (n=32) in ihrer Arbeitsfähigkeit nicht oder nur teilweise eingeschränkt. Sie konnten ihren alten Beruf ohne Einschränkungen oder bei harter körperlicher Arbeit mit leichten Einschränkungen wieder ausüben; dies entsprach der Arbeitsfähigkeitsklassifikation nach DENIS W1 und W2. 12 Patienten waren arbeitsunfähig (27%), nach der DENIS-Klassifikation entsprach dies W4.

Die Angaben zur Arbeitsfähigkeit beziehen sich auf den Zeitpunkt nach der Materialentfernung, also im Durchschnitt ca. 15 Monate nach dem Unfall.

Von den 8 Patienten, bei denen keine Materialentfernung durchgeführt worden war, befanden sich 2 Patienten bereits im Rentenalter, 2 Patienten waren in ihrer Arbeitsfähigkeit bei sitzender Tätigkeit nicht eingeschränkt oder bei harter körperlicher Arbeit nur leicht eingeschränkt, dies entsprach nach der DENIS-Arbeitsfähigkeitsklassifikation W2. 2 Patienten waren arbeitsunfähig (W4), bei 1 Patientin lagen keine Angaben zur Arbeitsfähigkeit vor.

4 Diskussion

Die Vergleichbarkeit der zahlreichen nationalen und internationalen Veröffentlichungen über die operative Behandlung von thorakolumbalen und lumbalen Wirbelkörperfrakturen ist insgesamt nur eingeschränkt möglich, da es zum einen sehr viele verschiedene Operationsmethoden gibt und zum anderen unterschiedliche Frakturklassifikationssysteme angewandt wurden und werden.

4.1 Epidemiologie

Von 92 Patienten, welche im Zeitraum zwischen Januar 1995 bis Dezember 2004 in der Klinik für Neurochirurgie der Universität Magdeburg einen Fixateur interne aufgrund einer Wirbelkörperfraktur des thorakolumbalen Überganges und der LWS erhielten, lagen die Krankenblätter und die Bildgebung zur retrospektiven Untersuchung vollständig vor. Es handelte sich in der Mehrzahl um Männer (65%), Frauen waren zu 35% betroffen. Auch im Literaturvergleich (Tabelle 9) spiegelt sich ausnahmslos das Überwiegen an männlichen Patienten wider. Diese Tatsache ist vermutlich Folge des höheren beruflichen und privaten Risikoprofils der Männer.

Der Altersdurchschnitt der untersuchten Patienten der vorliegenden Untersuchung lag bei 45 Jahren; andere Studien (Tabelle 9) zeigten ähnliche Ergebnisse, der Hauptanteil der Patienten ist zwischen 34 und 46 Jahre alt. Damit wird auch die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Verletzung deutlich: die meisten Patienten stehen mitten im Berufsleben, eine schnelle und möglichst folgenlose Heilung mit Wiedereingliederung in das Berufsleben ist auch aus diesem Grunde unbedingt anzustreben.

Ein großer Teil der Frakturen (24%) entstand durch Arbeitsunfälle. Der Hauptteil der Frakturen, 72%, trat jedoch im privaten Bereich auf. In 4% war ein Suizidversuch die Unfallursache. Betrachtet man den Unfallhergang an sich, so waren Stürze aus einer Höhe mit 62% die häufigste Ursache der Frakturen, gefolgt von PKW-Unfällen mit 27%. Einen wesentlich geringeren Anteil mit je 4% boten Motorradunfälle und direkte Krafteinwirkungen auf die Wirbelsäule als Unfallursache, in nur 2% war der Unfallhergang ein Fahrradsturz. Die in der Tabelle 9 abgebildeten epidemiologischen Ergebnisse anderer Untersuchungen zeigen Übereinstimmungen in der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Unfallkategorien bzw. Unfallursachen. In allen aufgeführten Untersuchungen waren die Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der LWS am häufigsten Folge eines Sturzes aus der Höhe. Zweithäufigste Ursache bildeten Verkehrsunfälle. Damit sind Hochgeschwindigkeitsverletzungen eine Hauptunfallursache.

Diskussion

Tabelle 9: Literaturvergleich Patienten und Unfallursache

Autor(en)	n	Geschlechterverteilung (weiblich: männlich)	Durchschnittsalter in Jahren	Unfallursache/ Unfallkategorie
Knop et al. 1997 [72]	56	26:30	34	52% Sturz aus der Höhe, 25% PKW-Unfall, 9% Suizid-Versuch, 7% banaler Sturz, 5% direkte Krafteinwirkung, 2% Motorrad-Unfall
Lindsey et al. 1991[82]	80	18:62	34	52% Sturz bzw. Fall aus einer Höhe, 22% PKW-Unfall, 10% Motorrad-Unfall, 6% direkte Gewalt bzw. Krafteinwirkung
Liljenqvist et al. 1995[81]	30	12:18	35	14 Stürze aus der Höhe, davon 3 Suizidabsicht, 8 PKW-Unfälle, 6 Motorradunfälle, 2 Fahrradunfälle
Knop et al. 2001[74]	682	36%:64%	39,9	50,4% Sturz aus der Höhe, 22,1% VKU, 14,1% banaler Sturz, 8,2% Suizid, 4,3 % direkt Krafteinwirkung, 1% unbekannt
Eysel et al. 1991[46]	135	33%:67%	31	58% Sturz aus der Höhe, PKW 15%, Motorrad, 11% Fahrrad/Sportunfälle
Wälchli et al. 2001[130]	15	3:12	34	6x Sportunfall, 5 Stürze aus der Höhe, 4xVKU,
Sanderson et al.1999[118]	24	8:16	33	75% Motorradunfall, 16% Fall, 8% direkte Krafteinwirkung
Leferink et al. 2003[80]	19	9:10	40,5	10 Stürze aus der Höhe:10, 6 Sportunfälle, 3 VKU
Wildburger et al. 1994[136]	28	?	32	13 Stürze aus der Höhe, 11 VKU, 4 Sportunfälle
Liu CL et al. 1999[83]	42	16:26	41,2	32 Stürze aus der Höhe, 8 VKU, 2x direkte Krafteinwirkung
Knop et al. 1999[71]	29	12:17	46	15 Stürze aus der Höhe, 5 Suizid-Versuche, 5x direkte Krafteinwirkung, 3 VKU
Müller et al. 1999[98]	20	5:1	33	8 D-Fälle, 4 VKU, 6 Stürze aus der Höhe, 2 Motorradunfälle

Am häufigsten waren die Frakturen im thorakolumbalen Übergangsbereich lokalisiert. Der 1. Lendenwirbelkörper war zu 85% betroffen, gefolgt vom 2. Lendenwirbelkörper in 19,6% der Fälle und vom 12. Brustwirbelkörper in 14,1%. Die Tabelle 10 zeigt die Frakturverteilungen bezüglich der Lokalisation in verschiedenen veröffentlichten Untersuchungen. Es wird deutlich, dass der thorakolumbale Übergang besonders anfällig für Frakturen ist. In allen hier aufgeführten Untersuchungen zeigt der 1. LWK mit Abstand die häufigste Frakturlokalisation. Diese besondere Verletzbarkeit des thorakolumbalen Überganges ist das Resultat der sog. physiologischen Instabilität im Übergang zwischen der relativ starren Thoraxapertur und der flexiblen Lendenlordose mit folgender Kraftkonzentration im thorakolumbalen Wirbelsäulenabschnitt verbunden mit den auftretenden Kräften bei Hochgeschwindigkeitsverletzungen [58].

Tabelle 10: Literaturstellen Frakturlokalisation

Autor(en)	Frakturlokalisation
Knop et al. 1997 [72]	30x LWK1, 8x LWK2, 6x BWK 12, 5x LWK 3, 4x LWK 5, 2x LWK 4, 1x BWK11
Lindsey et al. 1991 [82]	40% LWK 1, 28% BWK 12
Liljenqvist et al. 1995 [81]	11x LWK 1, 7x LWK 2, 5x BWK 12, 4x LWK 3, 3x BWK 9
Knop et al. 2001 [74]	49% LWK 1, 25% BWK 12, 21% LWK 2, 4% BWK 11, 1% BWK 10
Eysel et al. 1991 [46]	15% BWK 12, 36% LWK 1, 16% LWK 2, 11% LWK 3
Wälchli et al. 2001 [130]	9x LWK 1, 3x LWK2 und BWK 12 (nur thorakolumbaler Übergang untersucht)
Sanderson et al.1999 [118]	12x LWK 1, 8x BWK 12, 4x LWK 2 (nur thorakolumbaler Übergang untersucht)
Lefrink et al. 2003 [80]	je 8x LWK 1 u. BWK 12, 2x LWK 3, 1x BWK 10
Wildburger et al. 1994 [136]	14x LWK 1, 6x BWK 12, 4x LWK 2, 2x LWK 3, 1x LWK 4 und BWK 10
Liu CL et al. 1999 [83]	16x LWK 1, 11x LWK 2, 7x BWK 12, 4x LWK 4, 2x LWK 2, 1x LWK 3 und BWK 11
Knop et al. 1999 [71]	16x LWK 1, 8x LWK 2, 2x BWK 12, 2x LWK 4, 1x LWK 5
Müller et al. 1999 [98]	7x LWK 1 ,6x LWK 2, 4x BWK 12, 3x LWK3, 1x LWK 4

4.2 Folgen der Wirbelfraktur

In Anbetracht der Schwere der Verletzungen mit in 92,5% der Fälle teils deutlicher Kompression nervaler Strukturen durch den intraspinalen Anteil der luxierten Hinterkante der mittleren Säule des Wirbelkörpers war der größte Teil der Patienten (90%) erstaunlicher Weise ohne ein neurologisches Defizit. Über die Hälfte (55%) der Patienten mit einem neurologischen Defizit boten sogar ein nur leichtes Defizit (Frankel D). Allerdings hatten alle 4 Patienten mit einem höhergradigen neurologischen Defizit (ab Frankel C) eine spinale Einengung zwischen 60- 100%. Die häufig fehlende neurologische Beeinträchtigung der Patienten bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der LWS zeigen auch andere Untersuchungen. In einer prospektiven Studie von Esses et al. [43] mit 24 Frakturen waren 17 Patienten (71%) ohne ein neurologisches Defizit, nur 3 Patienten (12,5%) zeigten einen kompletten Querschnitt (Frankel A). Je 2 Patienten wurden nach Frankel C und D klassifiziert. Knop et al. [72] zeigten in einer Nachuntersuchung von 56 Frakturen mit dorsaler Stabilisierung, dass nur 7% der Patienten ein neurologisches Defizit aufwiesen. Zu einer ähnlichen Aussage kamen Atlas et al. [4] in einer radiologischen und klinischen Analyse von 69 Patienten mit Wirbelkörperbrüchen der thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäule. Es fand sich in dieser Arbeit keine Korrelation zwischen dem neurologischen Status und dem Grad der intraspinalen Verlegung durch ein luxiertes Hinterkantenfragment. Eine mögliche Erklärung der Diskrepanz zwischen der spinalen Kompression und dem neurologischen Befund fanden Panjabi et al. [108]. Sie unterscheiden zwischen einer dynamischen, also während der Krafteinwirkung beim Unfall auftretenden Spinalkanaleinengung, und einer statischen

Spinalkanaleinengung zum Zeitpunkt der ersten CT-Untersuchung nach dem Unfall. Untersuchungen an Leichenwirbelsäulen zeigten, dass die dynamische Einengung um 85% größer ist als die posttraumatische statische Einengung des Spinalkanals. Eine Korrelation zwischen der dynamischen und statischen Spinalkanaleinengung fand sich nicht.

Die am häufigsten zur Anwendung kommende Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen ist die Einteilung nach Magerl [87]. Sie findet Anwendung in vielen Untersuchungen über die Behandlung von thorakolumbalen und lumbalen Frakturen [72,71,81,130,80,98]. Bei der Magerl-Klassifikation werden 55 Subtypen unterschieden. Die Bedeutung einer Klassifikation für die klinische Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit aber hängt in hohem Maße von der Reliabilität und Reproduzierbarkeit, der sog. Interobserverreliabilität ab [18]. Einteilungen ohne eine entsprechend gute Reproduzierbarkeit können zu widersprüchlichen und verwirrenden klinischen Ergebnissen führen [18]. Blauth et al. [11] konnten zeigen, dass die Magerl-Klassifikation aufgrund ihrer Komplexität nur eine Interobserverreliabilität von 45% aufweist. Wurde die Magerl-Klassifikation jedoch vereinfacht, indem man die Frakturen nur nach den 3 Verletzungstypen einordnete, zeigte sich eine Interobserverreliabilität von 67%. In Arbeiten von Wood et al. [140] und Oner et al. [105] wird ebenfalls die nur mäßige Reproduzierbarkeit der Magerl AO-Frakturklassifikation bestätigt. Eine detailgetreue Klassifikation mit vielen Informationen senkt also die Reproduzierbarkeit. Eine Vereinfachung der Einteilung, verbunden mit einer höheren Reproduzierbarkeit, kann jedoch mit einem Informationsverlust verbunden sein [105].

Aus dem Grund der besseren Vergleichbarkeit durch eine vereinfachte Frakturklassifikation wurde die Verletzungsform des Wirbelkörpers in der vorliegenden Untersuchung nach der „Universal Spine Fracture Classification“ von Meyer [97] eingeteilt. Dabei überwog mit 68,5% deutlich der Frakturtyp C. In 31,5% der Fälle kam es zu einer Wirbelkörperfraktur Typ B nach der Meyer-Klassifikation. Der Frakturtyp A kam in dieser Studie nicht vor, da es sich bei Typ A um stabile Frakturen handelt und diese konservativ therapiert wurden.

In der Mehrzahl der Fälle, in 59%, waren alle 3 Säulen des Wirbels nach dem Denis Drei-Säulenprinzip [31] betroffen; in 39% zeigte sich eine Beteiligung der vorderen und mittleren Säule. Frakturen ohne Beteiligung der vorderen Säule kamen in der vorliegenden Untersuchung nicht vor. Dies zeigt unter anderem die besondere Bedeutung der ventralen Säule für die Stabilität der Wirbelsäule nach axialer Krafteinleitung bzw. Druckbelastung auf den vorderen Anteil des Wirbelkörpers durch Kompressionskräfte. Die meisten Patienten dieser Untersuchung zeigten auch eine ventrale Höhenminderung mit Ausbildung eines Keilwirbels und konsekutiver kyphotischer Wirbelsäulenfehlstellung. Nach Whitesides [135] wird die axiale Last der gesunden Wirbelsäule zu 80% als Kompressionskraft auf die ventrale Säule gebracht. In allen hier untersuchten Fällen war

die Hinterkante der mittleren Säule des Wirbelkörpers an der Fraktur beteiligt; dies ist auch die Hauptindikation zur Implantation eines Fixateur interne bei thorakolumbalen und lumbalen Frakturen in der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg.

Luxationsfrakturen im thorakolumbalen und lumbalen Bereich traten im Untersuchungszeitraum selten auf: in nur 3 Fällen (3%) zeigte sich eine relevante Translation ($>1/4$ des Wirbelkörpers im sagittalen oder frontalen Profil). In einer Arbeit von Knop et al. [74] zeigte sich bei 372 Patienten mit einer thorakolumbalen und lumbalen Wirbelfraktur ebenfalls in nur 4% der Fälle eine relevante Translokation.

Als Folge der Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule bildete sich in 85% eine posttraumatische Kyphose, die sog. Kyphosestellung (GDW) aus, welche im Mittel 10° betrug. In wie weit aber jedes Fraktursegment vom Normalbefund der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung abwich, konnte nicht genau bestimmt werden. Untersuchungen der Winkelmaße der Wirbelsäulenschwüngen an gesunden Probanden zeigten erhebliche Standardabweichungen wegen großer interindividueller Unterschiede [10,51,121]. Unterteilt man die Frakturen nach der Meyer-Frakturklassifikation in Typ B und Typ C, unterscheidet sich das Ausmaß der posttraumatischen Kyphose sehr signifikant: Typ B zeigt im Mittel eine Kyphose von nur $3,9^\circ$ gegenüber dem Typ C mit einer posttraumatischen Kyphose von $12,3^\circ$. Dies zeigt, dass ein höherer Verletzungsgrad eines Wirbelkörpers mit einer stärkeren ventralen Höhenminderung einhergeht und eine größere Achsabweichung zur Folge hat, welche mit der Frakturklassifikation von Meyer korreliert: der höhergradige Frakturtyp C nach der Meyerklassifikation weist den größeren posttraumatischen kyphotischen Knick auf.

In der Literatur finden sich durchweg ähnliche Ergebnisse. Die posttraumatische Kyphose, der sog. GDW, betrug zwischen $11,5$ und $16,2^\circ$, der verletzte Wirbelkörper hatte einen Winkel zwischen $16,4^\circ$ und 21° [82,71,72,130,74,80,98]. Unterschiedliche Angaben zu Winkelmaßen posttraumatischer Veränderungen der Wirbelkörper in der Literatur lassen sich auch dadurch erklären, dass verschiedene Wirbelsäulenabschnitte untersucht wurden: in einigen Fällen wurde nur der thorakolumbale Übergang untersucht [74,118], in anderen zusätzlich die LWS und die untere BWS [72,80,136]. Alle genannten Untersuchungen zeigten aber übereinstimmend, dass der Winkel des verletzten Wirbels, der sog. Körperwinkel, deutlich größer ist als der Winkel der Kyphosestellung, der sog. GDW. Dieser stellt aber das eigentliche sagittale Wirbelsäulenprofil dar und ist damit auch für die Wirbelsäulenstatik maßgeblich. Verantwortlich für das geringere Winkelmaß der Kyphosestellung im Vergleich zum Körperwinkel des zerstörten Wirbelkörpers ist die ausgleichende Wirkung des Zwischenwirbelraumes, da die Summe von Körperwinkel und Winkel des Zwischenwirbelraumes die Kyphosestellung ergibt.

4.3 Operative Versorgung der Wirbelfraktur

Der Zeitraum zwischen dem Unfall und der operativen Versorgung der Wirbelkörperfraktur betrug im Durchschnitt 5 Tage. Nach der Übernahme der Patienten wurde die Operation elektiv geplant, eine eventuell unvollständige oder fehlende Diagnostik konnte durchgeführt bzw. wiederholt werden. Zeigten die Patienten jedoch bei der Aufnahmeuntersuchung ein neurologisches Defizit, wurde in 56% der Fälle noch am Aufnahmetag operiert, in 22% am Folgetag. Verzögerungen des Operationszeitpunktes entstanden durch eine zum Teil verspätete Verlegung in unsere Klinik sowie durch Begleitverletzungen, die eine Stabilisierung des Allgemeinzustandes erforderlich machten. Andere Untersuchungen zeigten ähnliche Resultate: Patienten mit einem neurologischen Defizit wurden signifikant früher operiert [72,74]. In einer Arbeit von Liu et al. 1999 [83] lag der mittlere Zeitraum zwischen dem Unfall und der Operation bei 8 Tagen, der neurologische Befund wurde dabei nicht erwähnt.

Die Kyphosestellung direkt nach dem Unfall, der sog. Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), konnte über das Schrauben-Stab-System des Fixateur interne im Durchschnitt um 8° auf eine durchschnittliche Kyphose von $3,2^\circ$ korrigiert werden. In den Fällen einer posttraumatischen Kyphose wurde eine Lordosierung durchgeführt. Das Ausmaß der Reposition unterscheidet sich sehr signifikant vom Verletzungsgrad des Wirbels. Der Verletzungsgrad wird durch die Frakturtypen B und C nach der Meyer-Klassifikation wiedergegeben: bei Frakturen des Typ B nach Meyer wurde die Kyphosestellung im Mittel um 6° , bei Frakturen des Typ C um 9° korrigiert ($p=0,009$).

Mit dem eigentlichen Winkel des frakturierten Wirbelkörpers, dem sog. Körperwinkel verhielt es sich ähnlich wie mit der Kyphosestellung; die Korrektur durch das Schrauben-Stab-System beim Fixateur interne erreicht im Mittel 6° . Auch hier fand sich ein sehr signifikanter Unterschied bezüglich des Verletzungsgrades des Wirbelkörpers, ausgedrückt in den Frakturtypen nach der Meyer-Klassifikation: beim Frakturtyp B wurde um 4° , beim Typ C um 7° operativ aufgerichtet ($p=0,01$).

Die Angaben in der Literatur [82,72,130,74,136] sind tendenziell höher als die Angaben der eigenen Untersuchung: der Körperwinkel wurde zwischen 9° und $13,7^\circ$ reponiert, die Kyphosestellung (GDW) zwischen $10,2^\circ$ bis sogar $16,8^\circ$. Dabei wurde aber auch im Mittel teilweise bis zu einer Lordosestellung von $5,3^\circ$ [136] reponiert - im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen, wo durchschnittlich nur bis zu einer Kyphosestellung von $3,2^\circ$ korrigiert worden ist. In den genannten Literaturstellen wurden jedoch verschiedene Arten der Wirbelkörperfrakturen zusammengefasst und auf eine getrennte Darstellung zwischen Frakturtyp und Ausmaß der Korrektur verzichtet. Übereinstimmend mit den eigenen Untersuchungen ist auch festzustellen, dass der Körperwinkel

durchgehend geringer als der Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) korrigiert wurde, obwohl der Körperwinkel in den genannten Literaturstellen und in der eigenen Untersuchung stärker als der GDW vom Normalzustand abwich. Dies unterstreicht die Bedeutung der Zwischenwirbelräume für die Korrektur und Stabilisation der posttraumatischen Fehlstellung im sagittalen Wirbelsäulenprofil.

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei der Implantation des Fixateur interne in den meisten Fällen (90%) der Spinalkanal eröffnet, bei 55% aller Patienten über eine interlaminäre Fensterung oder eine Teilhemilaminektomie. Nach Inspektion der intraspinalen Verhältnisse war bei 24 Patienten (47% der Fälle mit einer interlaminären Fensterung oder Teilhemilaminektomie) eine direkte Fragmentreposition erforderlich. In insgesamt 35% aller Fälle wurde großzügiger über eine Hemi- oder Laminektomie dekomprimiert, auch hier wurde bei ca. der Hälfte der Patienten eine Reposition der Hinterkante durchgeführt.

In vielen Veröffentlichungen wird nicht explizit auf eine eventuelle Dekompression und deren Ausmaß eingegangen [72,46,81,130,98]. Lindsey et al. 1991 [82] untersuchten 80 Patienten mit einer thorakolumbalen Fraktur und einem neurologischen Defizit. Bei der Implantation des Fixateur interne wurde in nur 29% von dorsal her dekomprimiert. In der genannten Arbeit von Lindsey et al. und in der vorliegenden Arbeit sind die Anteile einer großzügigen Dekompression des Spinalkanals über eine Lamin- bzw. Hemilaminektomie eher gering, denn eine Laminektomie bringt die Gefahr einer weiteren Destabilisierung des durch die Fraktur bereits geschädigten Wirbelsegmentes mit sich [34]. Auch zeigten Untersuchungen von Plauke [111], dass eine Laminektomie bei Wirbelkörperfrakturen mit einem neurologischen Defizit häufig nicht den gewünschten Effekt brachte. Die Dekompression des Spinalkanals kann auch nach einer interlaminären Fensterung oder einer Teilhemilaminektomie ohne größeren Verlust knöcherner Strukturen durch die beschriebene direkte Dekompression der luxierten Hinterkante mit einem Stößel oder durch Ligamentotaxis ohne Eröffnung des Spinalkanals nach Distraction und Relordorsierung erreicht werden [41,24,137]. Esses et al. [42] zeigten, dass bei instabilen thorakolumbalen Frakturen während einer dorsalen Reposition und Stabilisation mit dem Fixateur interne ohne eine Eröffnung des Spinalkanals eine Erweiterung des Spinalkanals um durchschnittlich 32% erlangt werden kann; eine komplette Wiederherstellung der ursprünglichen Weite des Spinalkanals wurde dagegen nicht erreicht. Eine weitere Form der Dekompression des Spinalkanals stellt das postoperative Remodeling dar, welches auf Pulsationen des Duralsackes und resorptive Vorgänge zurückgeführt wird und eine Erweiterung des Spinalkanals bewirken kann [76,119]. Die Bedeutung einer verbleibenden posttraumatischen Einengung des Spinalkanals wird unterschiedlich bewertet. Harms [60] berichtete: „Die klinische Irrelevanz des Ausmaßes einer

traumatischen Spinalkanaleinengung [19,99,133] kann nach eigenen Erfahrungen nicht bestätigt werden, wie andere Autoren [135,93] mussten auch wir sekundäre neurologische Komplikationen bei persistierender Spinalkanalstenose und/oder kyphotischen Fehlstellungen beobachten“.

Die intraoperative Kontrolle der Weite des Spinalkanals nach einer indirekten oder direkten Fragmentreposition mit bildgebenden Verfahren wurde von Aebi et al. [3,2] empfohlen. Dies ist in der vorliegenden Arbeit nur bei jeder 5. Operation durchgeführt worden, gehäuft (78%) nach einer direkten Fragmentreposition. Ähnliche Angaben über die Häufigkeit einer intraoperativen Myelographie werden in einer Arbeit von Knop et al., 2000 [75], gemacht. Dort wurde ebenfalls bei 20% von 682 Patienten eine intraoperative Myelographie zur Kontrolle der Weite des Spinalkanals durchgeführt.

Im untersuchten Zeitraum von 1995 bis 2004 wurden in unserer Klinik verschiedene Therapiekonzepte zur Stabilisierung und Rekonstruktion der ventralen Säule über den dorsalen Zugang angewandt. Rekonstruktionen der ventralen Säule im genannten Zeitraum wurden in 80% aller Fixateur interne-Implantationen versucht; in der Mehrzahl (85%) handelte es sich dabei um eine interkorporelle Fusion des oberen Zwischenwirbelraumes nach partieller Entfernung der verletzten Bandscheibe. In 9% wurde neben der interkorporellen Fusion ein transpedikulärer Wirbelkörperaufbau durchgeführt, in 15% ein alleiniger transpedikulärer Wirbelkörperaufbau. Bei der interkorporellen Fusion wurde in 71% Knochenmaterial aus dem Zugang verwendet, in 29% Beckenkammspongiosa. Die breite Streuung der Therapiekonzepte bzw. Verfahren zur Rekonstruktion der ventralen Säule spiegelt sich auch in der Literatur wieder. In einer Arbeit von Knop et al. 1997 [72] wurde die dorsale Instrumentierung in 71,4% durch eine transpedikuläre interkorporelle Fusion ergänzt. Die Häufigkeit der Fusion des oberen Zwischenwirbelraumes ist mit der der vorliegenden Arbeit zu vergleichen, der Unterschied besteht in der Durchführung: Bei der transpedikulären interkorporellen Fusion wird über eine aufgebohrte Bogenwurzel des Frakturwirbels Knochenmaterial in den Zwischenwirbelraum eingebracht; in der vorliegenden Arbeit wird nach Eröffnung des Spinalkanals direkt der obere Zwischenwirbelraum nach Teilentfernung der Bandscheibe mit autologem Knochenmaterial fusioniert. Die Bedeutung der interkorporellen Fusion und damit gleichfalls die des Zwischenwirbelraumes spiegelt sich auch in der häufigeren Anwendung gegenüber der intrakorporellen Spongiosaplastik wieder. In der eben genannten Arbeit von Knop et al. 1997 wird die intrakorporelle Spongiosaplastik im Gegensatz zur interkorporellen Fusion nicht angewandt. Auch Daniaux [26] betont die Bedeutung des oberen Zwischenwirbelraumes für das sagittale Wirbelsäulenprofil bzw. dessen Aufrechterhaltung: 70% des Korrekturverlustes entsteht durch die Höhenminderung des angrenzenden Zwischenwirbelraumes, nur 30% durch den Wirbelkörper an sich.

Die dorsale Stabilisierung und Reposition thorakolumbaler und lumbaler Frakturen mittels Fixateur interne ist ein schonendes und komplikationsarmes Verfahren gegenüber ventralen Eingriffen [132,77]. In der vorliegenden Arbeit konnte bestätigt werden, dass die Implantation des Fixateur interne eine niedrige Komplikationsrate aufweist. Nur in einem Fall kam es zu einer nicht eingriffsspezifischen lebensbedrohlichen Komplikation mit Ausbildung eines akuten progressiven Lungenversagens. Die häufigste Komplikation war mit 12% (n=11) der Materialbruch, wobei es nur in 5 Fällen (5,4%) zu einem vermutlich mechanisch wirksamen Materialversagen mit Bruch zweier kaudaler oder kranialer Pedikelschrauben bzw. Bruch beider Längsträger gekommen ist. Die relative Häufigkeit des Materialbruchs ist wahrscheinlich Folge der segmentalen Umkehr der Krafteinleitung, der Umkehrung des sog. Load-Sharing-Systems. Matthis und Biedermann [102] konnten nachweisen, dass bei einer dorsalen Instrumentation 90% der in die Wirbelsäule eingeleiteten axialen Kraft dorsal innerhalb der Instrumentation erscheint. Damit kommt es zu einer Wechsel-Biege-Belastung der Instrumentation mit möglichen Verbiegungen oder dem beschriebenen Materialbruch. In der Literatur werden ähnliche Ergebnisse der Häufigkeit von Materialbrüchen nach Implantation eines Fixateur interne zur Frakturversorgung angegeben, sie liegen zwischen 6% [82] bis 14% [83] und 20% [130] bzw. 25% [98].

Die in unserem Patientengut nach einer Fixateur interne-Implantation nachgewiesene Pedikelschraubenfehlage von nur 5,4% ist als eher gering einzustufen. Die intraoperative Bildwandlerkontrolle einer zunächst probatorisch eingebrachten Kanüle vor dem Eindrehen der Pedikelschrauben war dabei sehr hilfreich. Über ähnlich gute Erfahrungen mit der probatorisch eingebrachten Kanüle berichteten Liljenqvist et Mommsen [81]. In einer Arbeit von Esses et al. [42] kam es in 8% zu einer nachgewiesenen Fehllage von Pedikelschrauben, Lindsey et al. [82] berichteten über eine Fehllage der Pedikelschrauben in 5% der Fälle, Knop et al. 1997 [72] gaben sogar nur 2% Fehllagen an. Das Morbidity and Mortality Committee der Scoliosis Research Society bezifferte das neurologische Risiko dorsaler Instrumentationssysteme mit einer transpedikulärer Verankerung durch Schrauben mit 3,2% [27].

Im Krankengut der vorliegenden Untersuchung kam es bei 5 Patienten (5,4%) zu einer Verschlechterung des neurologischen Status um einen Grad der Frankel-Klassifikation, eine höhergradige neurologische Verschlechterung trat nicht auf. Dieses relativ gute Ergebnis spiegelt auch die Angaben in der Literatur wider: Eysel et al. 1991 [46] gaben eine neurologische Verschlechterung um 1° nach der Frankel-Klassifikation in 3% an, andere Untersuchungen zeigten sogar keine neurologische Verschlechterungen nach einer dorsalen transpedikulären Instrumentation auf [82,46,72,81,136].

Auch weitere Komplikationen, wie oberflächliche Wundinfektionen, traten in der vorliegenden Untersuchung und in der Literatur [82,46,71,72,81,130,74,118,80,136,83,98] selten auf, tiefe

Wundinfektionen in unter 1% der Fälle. Insgesamt kann daher angenommen werden, dass die dorsale Instrumentation mittels Fixateur interne bei der Frakturversorgung ein komplikationsarmes Verfahren darstellt.

Bei fast allen Patienten (n=84; 91,3%) wurde der Fixateur interne wieder entfernt, im Durchschnitt nach 14,8 Monaten. In 8 Fällen wurde die Materialentfernung nicht durchgeführt, meistens war dies aufgrund eines höheren Lebensalters verbunden mit dem höheren Narkoserisiko vom Patienten so gewünscht worden. Eine Materialentfernung wird zur Vermeidung von Materialbrüchen und zur Mobilisierung der durch die bisegmentale Fixation mit einbezogenen Segmente bis zu einem 1 Jahr nach der Implantation empfohlen [81]. In der Literatur schwanken die Angaben zum Zeitpunkt der Materialentfernung nach Fixateur-Implantation zwischen 6-12 Monaten [118] und 16 Monaten [72]; die meisten Materialentfernungen [81,74,80] erfolgen 9-13 Monate nach Implantation des Fixateur interne.

4.4 Fragestellung

Eine Aufrichtung der posttraumatischen Fehlstellung der Wirbelsäule durch die Implantation des Fixateur interne wurde in der vorliegenden Untersuchung in fast allen Fällen zufrieden stellend erreicht; die Korrekturstellung direkt nach dem Einbau des Fixateur interne unterschied sich zwischen den Frakturtypen C und B nach der Meyer-Klassifikation nicht wesentlich. Konnte aber diese Korrekturstellung gehalten werden? Von welchen Faktoren hängt ein Verlust der operativ erzielten Korrekturstellung ab? Kann der Korrekturverlust durch operative Maßnahmen vermieden bzw. reduziert werden?

4.4.1 Verlust der korrigierten Achsenstellung

In keinem Fall konnte die durch die Operation erreichte Korrekturstellung über den Beobachtungszeitraum dieser Studie gehalten werden: im Gesamtdurchschnitt aller untersuchten Patienten sinterte die Kyphosestellung zwischen Implantation des Fixateur interne bis zur Materialentfernung um 9° zusammen. Unsere Ergebnisse bestätigen die auch in der Literatur angegebenen hohen Korrekturverluste des Fixateur interne bei der Versorgung von Wirbelkörperbrüchen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Literaturvergleich Korrekturverlust

Autor(en)	Nachuntersuchungszeitraum (NU) in Monaten (Zeitraum der Materialentfernung nach Unfall in Monaten)	Rekonstruktion der ventralen Säule	Korrekturverlust GDW postop. bis NU (bis zur ME)	Korrekturverlust KW postop. bis NU (bis zur ME)
Knop et al. 1997 [72]	22 (15,6)	in 71% interkorporelle Fusion	$10^\circ(6,3^\circ)$	$(4,4^\circ)$
Lindsey et al. 1991[82]	35	29% Fusion interkorporell, vermutlich transpedikulär	$8,5^\circ(3,5^\circ)$	$0,3^\circ(0,5^\circ)$
Knop et al. 2001[74]	24 (10)	72% transpedikuläre Spongiosaplastik, davon 77% auch interkorporell	$8,2^\circ(4,8^\circ)$	$3^\circ(2,6^\circ)$
Eysel et al. 1991[46]	16	-	$6,8^\circ$	3%
Wälchli et al. 2001[130]	37 (13)	100% transpedikuläre intra- und interkorporelle Spongiosaplastik	$8,7^\circ(5,4^\circ)$	$1,4^\circ(1,1^\circ)$
Leferink et al. 2003[80]	24 (9)	transpedikuläre Spongiosaplastik des Wirbelkörpers, keine Diskektomie	$6,8^\circ(1,1^\circ)$	$0,1^\circ(1,2^\circ)$
Wildburger et al. 1994[136]	36 (?)	unbestimmte Anzahl von transpedikulärer Spongiosaplastik Wirbelkörper und interkorporell	$9,7^\circ$	$2,7^\circ$
Knop et al. 1999[71]	42	100% transpedikuläre interkorporelle Spongiosaplastik	$7,8^\circ$	-
Müller et al. 1999[98]	76 (16)	6% intrakorporelle Spongiosaplastik	$15,3^\circ$	$3,6^\circ(2,7^\circ)$

In den zahlreichen veröffentlichten Untersuchungen über den Fixateur interne wurde über den Verlust der erreichten Korrekturstellung berichtet, jedoch unabhängig von Frakturklassifikationen bzw. den posttraumatischen Wirbelveränderungen.

4.4.2 Einflussnahme posttraumatischer Wirbelveränderungen auf den Korrekturverlust

Für die Planung einer operativen Frakturbehandlung ist die Einschätzung des Ausmaßes einer erneuten Achsabweichung nach intraoperativer Aufrichtung und Stabilisation sinnvoll. Einfach zu bestimmende Frakturmerkmale sollten die Vorhersage eines möglichen Repositionsverlustes erleichtern. Damit könnten dann zur Vermeidung einer bleibenden Fehlstellung zum dorsalen Vorgehen zusätzliche laterale bzw. kombinierte dorso-ventrale Verfahren zur operativen Frakturversorgung angewandt werden. Andererseits könnte man bei bestimmten Frakturmerkmalen, welche mit einer ausreichenden Stabilisierung der korrigierten Achsenstellung nach Implantation eines Fixateur interne einhergehen, auf aufwendigere Stabilisationsverfahren verzichten.

Mit der vorliegenden Untersuchung gelang es, einfach zu bestimmende Wirbelveränderungen zu finden, die bereits vor der Operation eine Aussage über einen eventuellen späteren Korrekturverlust ermöglichen: nach Unterteilung der operierten Wirbelkörperfrakturen entsprechend ihrer Verletzungsform in Anlehnung an die Meyer-Frakturklassifikation in Typ B und C zeigte sich ein höchst signifikanter Unterschied bezüglich der Fähigkeit, die Korrekturstellung durch von dorsal her eingebrachte transpedikuläre Fixationssysteme zu halten. Während die Korrekturstellung (Kyphosestellung, GDW) bei Frakturen vom Typ B nur um 4° zusammensinkt, kommt es beim Frakturtyp C zu einer Sinterung im Mittel von 12° ($p < 0,001$). Die nach Abschluss der Frakturbehandlung verbleibende kyphotische Fehlstellung (GDW) betrug beim Typ B nach Meyer nur 5°, Typ C wies hingegen eine für die Wirbelsäulenstatik und Biomechanik bedeutsame [96] Fehlstellung von 16° auf ($p < 0,001$).

Damit konnte klar gezeigt werden, dass zur Vermeidung einer verbleibenden posttraumatischen Fehlstellung bei höhergradigen Typ C-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation der Fixateur interne alleine nicht ausreicht, eine zusätzliche laterale Verplattung bzw. ein kombiniertes dorso-ventrales Verfahren wäre indiziert. Leichtere Frakturformen des Wirbels, Frakturen vom Typ B der Meyer-Klassifikation werden dagegen durch den Fixateur interne ausreichend gut stabilisiert, aufwendigere, den Patienten stärker belastende Operationen sind nicht erforderlich.

Vergleichbare Untersuchungen in der Literatur wurden nicht gefunden.

Die Untersuchung konnte weiterhin nachweisen, dass ein posttraumatisches intraspinale Knochensplit keine Auswirkung auf die spätere Sinterungsrate der korrigierten Wirbelsäulenstellung hatte.

Das Ausmaß der posttraumatischen Kyphose (Kyphosestellung, GDW) des Frakturwirbels direkt nach dem Unfall beeinflusste dagegen direkt proportional die Höhe des Korrekturverlustes nach operativer Reposition und Stabilisation: Bei einer Unterteilung der Frakturen in eine posttraumatische Fehlstellung (Kyphosestellung, GDW) von 15° und mehr sowie unter 15° zeigte sich ein sehr signifikanter Unterschied ($p=0,004$) bezüglich des Korrekturverlustes: er lag bei 12° im Fall einer posttraumatischen Fehlstellung von $\geq 15^\circ$ gegenüber einer Sinterung von nur 8° bei einer posttraumatischen Fehlstellung von $< 15^\circ$.

Für die Vorhersage des Korrekturverlustes nach Implantation eines Fixateur interne ist der posttraumatische Körperwinkel des Frakturwirbels nicht geeignet: Bei Unterteilungen des posttraumatischen Körperwinkels des Keilwirbels von über und unter 15° bzw. über und unter 20° war der Unterschied des jeweiligen Korrekturverlustes nicht signifikant. Vermutlich spielt dabei auch die Tatsache, dass der Winkel des Zwischenwirbelraumes der zerstörten Bandscheibe im alleinigen Körperwinkel nicht berücksichtigt wird, eine Rolle.

Die wichtigste und auch für die Meyer-Klassifikation maßgebliche Einflussgröße in unserer Untersuchung war die Anzahl der verletzten Säulen des Frakturwirbels. Bei Verletzungen der vorderen und mittleren Säule des Wirbelkörpers änderte sich die erreichte Korrekturstellung des Grund-Deckplatten-Winkels im Durchschnitt um 6° , bei einer zusätzlichen Verletzung der hinteren Säule kam es dagegen zu einer Sinterung der Korrekturstellung von durchschnittlich 11° , der Unterschied ist höchst signifikant. Veröffentlichungen, die eine Korrelation der Sinterungsrate mit einer gängigen Fraktуреinteilung bzw. einem anderen Verletzungsmerkmal des Wirbels angeben, existieren nicht.

Da zusammenfassend gesehen hauptsächlich das Ausmaß der direkt posttraumatisch gemessenen Kyphosestellung (GDW) und die Anzahl der verletzten Säulen des Wirbelkörpers Einfluß auf den Verlust der korrigierten Achsenstellung nehmen und diese 2 eben genannten Verletzungsmerkmale einer Wirbelkörperfraktur die einzelnen Frakturtypen in der „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer festlegen, kann damit belegt werden, dass sich die Einteilung der Meyer-Klassifikation hervorragend eignet, die Fähigkeit der transpedikulären Fixationssysteme zur Stabilisierung nach erfolgter Reposition der posttraumatischen Kyphose vorherzusagen. Die weit verbreitete und sehr detaillierte Magerl AO-Frakturklassifikation [87] mit der jedoch niedrigen Inter- und Intraobserverreliabilität [11] bot dagegen keine Korrelation zwischen den Frakturtypen und den entsprechenden Korrekturverlusten [72].

Hervorzuheben ist nochmals die Tatsache, dass keine Veröffentlichung gefunden wurde, die eine Korrelation zwischen den verschiedenen Typen einer Frakturklassifikation bzw. Art der Wirbelerletzung und der progressiven Kyphosierung nach operativer Therapie von Frakturen des thorakolumbalen oder lumbalen Wirbelsäulenbereiches durch einen Fixateur interne aufzeigt. Auf wesentliche prä- und intraoperative Einflussgrößen wurde ebenfalls bisher nicht explizit eingegangen.

4.4.3 Einfluß unfallunabhängiger Größen auf den Korrekturverlust

Unfallunabhängige Größen, wie Alter und Geschlecht, hatten keinen Einfluß auf das Ausmaß des Korrekturverlustes. Es wird aber an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass die Osteoporose, welche im höheren Lebensalter vermehrt auftritt, auf die hier vorliegenden Untersuchungsergebnisse keinen negativen Einfluß nimmt, da Patienten mit einer Osteoporose im Untersuchungszeitraum zwischen 1995 und 2004 in der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg keinen Fixateur interne erhielten. Bei Patienten mit einer Osteoporose wurden die Wirbelfrakturen des thorakolumbalen Überganges und der LWS konservativ therapiert. Sollte sich intraoperativ ein nicht fester Knochen bzw. nicht fester Sitz der Pedikelschrauben gezeigt haben, wurde die Operation abgebrochen und eine schrittweise Mobilisation mit einem Korsett nach anfänglicher Bettruhe durchgeführt.

4.4.4 Operative Beeinflussung des Korrekturverlustes

Für eine optimale Behandlung der Wirbelfrakturen mit dem Ziel der Vermeidung von Fehlstellungen ist es von Interesse, ob die Sinterung der Achsenstellung nach operativer Korrektur durch bestimmte intraoperative Maßnahmen während der Fixateur interne-Implantation verringert werden kann.

Zwischen den angewendeten Fixateur interne-Systemen Stryker©, Kluger© und Tenor© zeigte sich kein Unterschied bezüglich des Korrekturverlustes. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch Nolte et al. 1993 [103] in einer biomechanischen in-vitro-Untersuchung von 3 verschiedenen Fixateur interne-Systemen, darunter auch das Kluger©-System. Alle verwendeten Fixateursysteme wiesen nahezu vergleichbare gute Stabilisierungseigenschaften in sagittaler Bewegung auf.

Die Vermutung, je mehr reponiert wird, desto größer sei auch der Korrekturverlust, bestätigte sich in der vorliegenden Untersuchung nicht. Bei höhergradigen Typ C-Verletzungen des Wirbelkörpers, wo es zu einem deutlichen Korrekturverlust kommt, korreliert das Ausmaß der operativen Korrektur nicht mit der Sinterungsrate. Lediglich bei Frakturen des Frakturtyp B nach

der Meyer-Klassifikation zeigte sich eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Ausmaß der operativen Aufrichtung der posttraumatischen Kyphose und dem Korrekturverlust; dies ist jedoch aufgrund des gezeigten eher geringen Korrekturverlustes der Typ B-Frakturen nicht relevant.

Durch die gezielte Untersuchung des Krümmungsverhaltens des reponierten und stabilisierten Wirbelsäulensegmentes unter Berücksichtigung verschiedener radiometrischer Parameter konnten Erkenntnisse über den Zeitverlauf und den genauen Ort der Zusammensinterung der korrigierten Wirbelsäulenstellung gewonnen werden:

Betrachtet man alle Frakturen gemeinsam, so ist die Änderung des Winkels des Zwischenwirbelraumes ca. 1 Jahr nach der Fixateur interne-Implantation bis zur Materialentfernung mit 7° höher als die entsprechende Änderung des Körperwinkels, welche im Durchschnitt nur 4° beträgt. Hinsichtlich der einzelnen Frakturtypen B und C nach Meyer findet sich auch hier ein sehr bzw. höchst signifikanter Unterschied der Sinterungsraten. Der Körperwinkel sintert bei einer Fraktur Typ B der Meyer-Klassifikation um 2° , bei einer Fraktur des Typ C um 5° nach ($p=0,003$). Der Winkel des ZWR sintert beim Frakturtyp B um 4° und beim Typ C um 8° nach ($p<0,001$). Bereits Daniaux [26] beschrieb diesen Sachverhalt: 70% des Korrekturverlustes entsteht durch die Höhenminderung des Zwischenwirbelraumes, nur 30% durch den Wirbelkörper an sich. In einer Arbeit von Lindsey et Dick [82] fanden sich vergleichbare Ergebnisse: der Körperwinkel des Frakturwirbels blieb nach der Reposition über einen durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 35 Monaten beinahe konstant, der Grund-Deckplatten-Winkel sinterte um $8,5^\circ$ zusammen, damit kam es hauptsächlich im angrenzenden, meist oberhalb des Keilwirbels liegenden Zwischenwirbelraum zum Korrekturverlust. Eysel et al. [46] bestätigten die Tatsache, dass der Hauptkorrekturverlust im oberen Zwischenwirbelraum stattfindet und nicht direkt im Bereich des Frakturwirbels.

Nach der Materialentfernung ändert sich der Körperwinkel bei beiden Frakturtypen nur um ca. 1° ($p=0,2$). Auch der Winkel des ZWR ändert sich nach der Materialentfernung nur noch gering um ca. 1° beim Frakturtyp B nach der Meyer-Klassifikation, bzw. um ca. 2° beim Typ C ($p=0,04$).

In einer Arbeit von McLain [96] wurde ebenfalls nachgewiesen, dass der Hauptkorrekturverlust noch vor der Materialentfernung auftrat. Arbeiten anderer Autoren zeigen dagegen häufig ein stärkeres Zusammensintern der Korrekturstellung nach der Materialentfernung auf. Vermutlich spielt dabei auch der Zeitpunkt der Röntgenaufnahme nach der Materialentfernung eine Rolle: In unserer Untersuchung erfolgte die radiologische Kontrolle, welche zur Winkelmessung herangezogen worden ist, direkt nach der Materialentfernung im Gegensatz zu anderen Veröffentlichungen mit größeren Nachuntersuchungszeiträumen. In einer Arbeit von Liljenqvist et

Mommsen [81] lag der Nachuntersuchungszeitraum im Mittel 34 Monate nach der Fixateur-Implantation; hier kam es zu einer Rekyphosierung im Bereich des oberen Zwischenwirbelraumes von jeweils 4° vor und nach der Materialentfernung. Auch Lindsey et Dick [82] wählten einen vergleichbaren Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 35 Monaten nach dorsaler Instrumentierung; die Rekyphosierung im Bereich des oberen Zwischenwirbelraumes betrug ebenfalls vor und nach der Materialentfernung jeweils $3-5^{\circ}$. Dick et al. [36,32] beobachteten in einem Zeitraum von im Mittel 24 Monaten nach der Fixateur interne-Implantation einen Korrekturverlust von $3-4^{\circ}$ im oberen Zwischenwirbelraum sowohl vor als auch nach der Materialentfernung.

Es kann damit die besondere Bedeutung des oberen Zwischenwirbelraumes für den Korrekturverlust aufgezeigt werden: eine sichere Fusion des Zwischenwirbelraumes zur Aufrechterhaltung des Repositionsergebnisses wäre daher anzustreben.

Die Untersuchung zeigt jedoch deutlich, dass eine interkorporelle Anlagerung von autologem Knochenmaterial nach Entfernung der zerstörten Bandscheibe und/oder eine intrakorporelle transpedikuläre Spongiosaplastik die Sinterungsrate der Korrekturstellung nach der Operation nicht beeinflussen konnte:

Unterscheidet man die Wirbelfrakturen nach dem Schweregrad, zeigt sich sogar bei Frakturen vom Typ B der Meyer-Klassifikation eine signifikant höhere Sinterungsrate (8° ; $p < 0,05$) nach einem transpedikulären Wirbelkörperaufbau. Zwischen der Gruppe mit einer Rekonstruktion der vorderen Säule über eine Fusion des Zwischenwirbelraumes mit autologem Knochenmaterial und der Gruppe ohne Rekonstruktion der vorderen Säule zeigt sich bei Frakturen vom Typ B kein signifikanter Unterschied (2° bzw. 4° ; $p = 0,8$) bezüglich der Sinterungsrate. Typ C-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant innerhalb der gebildeten Behandlungsgruppen bezüglich des Korrekturverlustes, es kommt zu einer Sinterung zwischen $11-13^{\circ}$ ($p = 0,7$).

Auch Knop et al. [72] konnten zeigen, dass eine interkorporelle Fusion den Verlust der Korrekturstellung nicht zu beeinflussen vermag. In der gleichen Arbeit wurde bei 9 Patienten nach interkorporeller Fusion im Spiral-CT mit sagittaler Rekonstruktion gezeigt, dass nur 1/3 der Patienten in wenigstens einer Rekonstruktionsschicht einen knöchernen Durchbau aufwiesen. Dagegen fand sich regelmäßig eine ausgeprägte Sklerosierung der transplantierten Spongiosa, welche oft von einem deutlichen Resorptionssaum umgeben war. In einer späteren Multizenterstudie von Knop et al. [74] konnte ebenfalls gezeigt werden, dass eine interkorporelle transpedikuläre Spongiosaplastik den Korrekturverlust nicht zu beeinflussen vermag. Auch Röntgen- bzw. CT-Untersuchungen zeigten bei der Implantatentfernung in 35% der Fälle sicher eine Nekrose der eingebrachten Spongiosa, in 14% war das Ergebnis unklar. Der Untersuchung des

Einbauverhaltens der Spongiosa mittels einer Kernspintomographie mit Kontrastmittel nach der Materialentfernung widmeten sich Pickel et al. [110]. Bei nur 23% der untersuchten Patienten fand sich eine „regelmäßig erzielte Spondylodese“. Bei 1/3 der Patienten war die Spondylodese nicht eingetreten und interkorporelle Spongiosa nicht mehr nachweisbar. MRT-Untersuchungen belegen, dass ein Großteil des eingebrachten Knochens bindegewebig ersetzt wird [48]. In einer Arbeit von Wälchli et al. [130] wurden 2 Gruppen von Patienten mit einer vergleichbaren thorakolumbalen Frakturform hinsichtlich der Durchführung bzw. Nichtdurchführung einer transpedikulären intra- und interkorporellen Spongiosaplastik neben der Fixateur interne-Implantation gegenübergestellt. Der Gesamtkorrekturverlust konnte auch durch die Spongiosaplastik nicht aufgehalten werden - mit Ausnahme des Winkels des Frakturwirbels: er konnte um 2.7° besser gehalten werden. Nach der Spongiosaplastik traten auch keine Schraubenbrüche auf, in der Kontrollgruppe kam es zu 3 Schraubenbrüchen. Die weitere Analyse der radiometrischen Daten zeigte sogar eine um $4,4^\circ$ stärkere Sinterung im oberen Zwischenwirbelraum nach transpedikulärer Bandscheibenresektion. Damit wäre dieses Verfahren zur ausreichenden interkorporellen Fusion eher nicht geeignet. Eine Zunahme des Korrekturverlustes im oberen Zwischenwirbelraum bei der interkorporellen Fusion wurde in unserer Arbeit nicht beobachtet. Vermutlich wird durch eine transpedikuläre Resektion der Bandscheibe in der Untersuchung von Wälchli et al. [130] der ventrale Defekt im Frakturwirbel verstärkt und das Transplantatlager für die Spongiosaplastik zusätzlich neben dem häufigen Deckplatteneinbruch beschädigt. In unserer Arbeit wurde die Bandscheibe partiell nach Eröffnung des Spinalkanals direkt entfernt. Auch Oner et al. [106] zeigten in einer MRT-Studie der an den frakturierten Wirbel angrenzenden Bandscheiben, dass für die Achsabweichung des Zwischenwirbelraumes nach dorsaler Stabilisation Umverteilungen des Bandscheibenmaterials durch die Frakturbeteiligung der Endplatten des Keilwirbels verantwortlich sind.

Beckenkammspongiosa zur interkorporellen Fusion bei höhergradigen Typ C-Verletzungen scheint dem autologen Knochenmaterial aus dem Zugangsweg bezüglich des postoperativen Korrekturverlustes überlegen zu sein: Während bei der Fusion mit Beckenkammspongiosa ($n=9$) die Kyphosestellung im Durchschnitt um 8° zusammensintert, kommt es bei den Patienten mit einer Fusion des ZWR mit autologem Knochenmaterial aus dem Zugangsbereich ($n=30$) zu einer Sinterung von durchschnittlich 13° ($p<0,001$). Der Grund für die bessere Stabilisierung der ventralen Säule durch Beckenkammspongiosa ist unbekannt. Vermutlich aber kann mehr autologes Knochenmaterial durch die Entnahme am Beckenkamm gewonnen werden; auch scheint die Festigkeit und Zusammensetzung der Beckenkammspongiosa höher zu sein als beim Spongiosamaterial aus dem Zugangsbereich, da dabei sicher auch Anteile von den Bändern oder/und der Bandscheibe beigemischt werden. Allerdings sind die Patientenzahlen der einzelnen Gruppen der Herkunft des autologen Knochenmaterials in dieser Untersuchung teilweise zu gering,

um sichere Aussagen treffen zu können. Der Unterschied des Repositionsverlustes zwischen den beiden Gruppen ist zwar statistisch höchst signifikant aber mit 5° nicht sehr groß, ein postoperativer Korrekturverlust von 8° nach interkorporeller Fusion mit Beckenkammspongiosa ist dagegen immer noch relativ hoch. Eine ausreichende Rekonstruktion der ventralen Säule zur Aufrechterhaltung der Korrekturstellung ist damit nicht erreicht. Beim leichteren Verletzungsmuster des Frakturtyp B zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Arten des Knochenmaterials bei der interkorporellen Fusion bezüglich der Sinterungsrate, die im Durchschnitt ca. $3,5^\circ$ ($p=0,7$) beträgt. Trotz eines möglicherweise geringen Vorteils der Beckenkammspongiosa gegenüber des Knochens aus dem Zugangsweg bei der interkorporellen Fusion sollte auch die häufig den Patienten stark beeinträchtigende Schmerzsymptomatik im Bereich der Entnahmestelle der Beckenkammspongiosa beachtet werden.

Zusammenfassend ist folgendes ersichtlich: Eine interkorporelle Fusion durch von dorsal her eingebrachtes autologes Knochenmaterial kann den Korrekturverlust nach operativer Reposition und Stabilisation von instabilen Wirbelfrakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule nicht zufrieden stellend verhindern. Bei höhergradigen Typ C-Frakturen wäre zur Vermeidung einer posttraumatischen Fehlstellung und deren bereits genannten Folgen [135,124,15,33,52,55,92,14,126,60,19,99,133,96,123] sicherlich ein zusätzliches ventrales oder laterales Verfahren zu empfehlen.

Unter biomechanischen Aspekten, so White et Panjabi [134], ist dieses kombinierte Verfahren am besten geeignet, die physiologische Lastverteilung mit ventralen Druck- und dorsalen Zugkräften optimal zu neutralisieren. Erst nach Wiederherstellung einer tragenden ventralen Säule mittels eines trikortikalen Spanes, eines Titancages oder einer überbrückenden ventralen Spondylodese kommt der dorsalen Instrumentation die Funktion einer Zuggurtung zu [46]. Stoltze et Harms [124] berichten über den geringsten Korrekturverlust bei einer kombinierten Frakturversorgung. Sie untersuchten 201 Patienten über einen Zeitraum von mindestens 2 Jahren: Bei den rein dorsal versorgten Patienten wurde lediglich in 46% ein Repositionsverlust $<2^\circ$ gemessen, während bei den kombiniert dorso-ventral versorgten Patienten ein Korrekturverlust $<2^\circ$ in 91,2% gemessen wurde. Feil et Wörsdorfer [47] fanden bei 88% der dorso-ventral versorgten Patienten nach Konsolidierung eine anatomische Wiederherstellung des Wirbelsäulenprofils.

Kaneda et al. [69], Kostuik [78] und Dunn [38] favorisieren einen alleinigen ventralen Zugang. Durch diesen sei eine komplette Dekompression des Spinalkanals möglich, damit sei eine ventrale Instrumentation einer dorsalen Instrumentation überlegen. Andere Untersuchungen zeigen jedoch deutlich die Überlegenheit der kombiniert dorso-ventralen Spondylodesen gegenüber ein alleiniges

ventrales oder dorsales Vorgehen. In einer Analyse von Been [9] zeigte sich ein Korrekturverlust über 5° bei 41% der Patienten mit einem ventralen Verfahren, in 72% beim dorsalen und in nur 7% ein Korrekturverlust von mehr als 5° bei kombinierten dorso-ventralen Spondylodesen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen auch, dass das Ausmaß der knöchernen Dekompression im Rahmen einer Laminektomie oder Hemilaminektomie bzw. Teilhemilaminektomie oder einer erweiterten interlaminären Fensterung keinen Einfluß auf den Korrekturverlust nimmt. Da aber die Sinterung der Korrekturstellung der Wirbelsäule, wie bereits gezeigt werden konnte, stark von einer Frakturbeteiligung der hinteren Säule abhängt, eine dorsale knöcherne Dekompression und damit eine weitere Verletzung der hinteren Säule diese aber nicht wesentlich zu beeinflussen scheint, ist bei Frakturen mit Beteiligung der hinteren Säule auch von einer bedeutsamen Verletzung ligamentärer zusätzlich zu den ossären Strukturen auszugehen. Die Bedeutung ligamentärer Strukturen, der Bandscheibe und der Wirbelgelenke zur Aufrechterhaltung der Stabilität der Wirbelsäule wird in einer biomechanischen Untersuchung an menschlichen Leichen von Panjabi et al. [107] hervorgehoben: bei einer konstanten axialen Krafteinleitung von 43% des Körpergewichtes kommt es erst bei einer Durchtrennung des hinteren Längsbandes sowie des hinteren Bandscheibenanteils nach vorheriger Durchtrennung der interspinösen Bänder, des Ligamentum flavum, der Kapselbänder und der Facettengelenke im Bereich der thorakalen Wirbelsäule in Flexion zur deutlich messbaren Segmentinstabilität. Nagel et al. [100] zeigten durch Bewegungsmessungen an 5 menschlichen Leichen, dass es erst nach der Durchtrennung aller hinteren Bandstrukturen und Teilen des Anulus fibrosus der Bandscheibe zu einer Flexions-Extensions-Bewegung von ca. 20° kommt; bei intakten dorsalen Strukturen zeigt sich dagegen ein Bewegungsausschlag in der sagittalen Ebene von nur ca. 8° bei identischer Krafteinleitung.

4.5 Klinisches und soziales Resultat der Fixateur interne-Behandlung: Beschwerden, neurologischer Befund und Arbeitsfähigkeit nach der Frakturbehandlung

Nach Abschluss der operativen Behandlung von instabilen Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen und lumbalen Bereiches mit dorsaler Reposition und Stabilisation der und der Materialentfernung waren die meisten unserer Patienten (84%) schmerzfrei bzw. gaben nur einen minimalen Schmerz an. Eine signifikante Korrelation zwischen den Beschwerden der Patienten und dem Grad der posttraumatischen Achsabweichung fand sich nicht. Dagegen konnten bereits Böhler [14] und Trojan [126] nachweisen, dass eine posttraumatische kyphotische Fehlstellung von $> 15^\circ$ im Langzeitverlauf nach 10 Jahren immer zu Beschwerden führt. McLain et al. [96] berichteten schon über Beschwerden oder statisch bedingte Funktionseinbußen der Wirbelsäule bei einer Achsabweichung von $>10^\circ$ im sagittalen Profil.

Dagegen sehen andere Autoren keinen Zusammenhang zwischen dem Grad der posttraumatischen Fehlstellung und den Beschwerden der Patienten [19,99,133]. Dabei handelt es sich wie in der vorliegenden Arbeit in der Regel jedoch um Kurzzeitergebnisse: die Folgen der Fehlstatik der Wirbelsäule, wie die Inkongruenz der Wirbelgelenke mit sekundärer Spondyloarthrose [124], die Dekompensation der Nachbargelenke [135], die Instabilität der verletzten Bandscheibe, inklusive der diskogenen Schmerzen [15,33,60] sowie eine eventuelle Myelopathie oder Syringomyelie [135,52,55,92,33,60] können sich vermutlich aufgrund der anfänglich guten Kompensationsmöglichkeit in der kurzen Zeit noch nicht ausprägen. Nach Steffee et al. [123] kommt es bei einer Achsabweichung im sagittalen Profil mit konsekutiver Reduktion der Lendenlordose zu einer Verlagerung des Zentrums der Schwerkraft der Patienten nach ventral; die Folge kann ein schmerzhaft statisch überforderter Flachrücken sein. Die Wiederherstellung der physiologischen Wirbelkörperstellung sollte, gerade im Hinblick auf die oft jungen und aktiven Patienten, das Ziel einer jeden Therapie sein [44].

Die meisten unserer Patienten (92%) mit einer Wirbelkörperfraktur im thorakolumbalen und lumbalen Bereich blieben neurologisch unauffällig oder zeigten (6,5%) ein leichtes neurologisches Defizit. Nur eine Patientin blieb querschnittsgelähmt. Die in unserem Patientengut gezeigte niedrige Rate an neurologischer Beeinträchtigung nach einer thorakolumbalen bzw. lumbalen Wirbelfraktur mit nachfolgender dorsaler Reposition und Stabilisierung entspricht auch den Literaturangaben [72,81]. Knop et al. [72] weisen jedoch auf die Tatsache hin, dass in ihrem Patientengut bei zusätzlichen neurologischen Symptomen überwiegend von ventral operiert wird und diese damit bei den rein von dorsal behandelten Frakturen nicht mit erfasst werden.

Nach operativer Behandlung von instabilen Frakturen im thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitt einschließlich der Materialentfernung konnten in unserer Studie 73% der Patienten, bei denen die Angaben vollständig vorlagen und die sich nicht bereits im Rentenalter befanden, ihre Arbeit ohne oder mit leichten Einschränkungen wieder ausüben. Nur 27% der Patienten war nach der Frakturbehandlung laut den Unterlagen arbeitsunfähig. Diese guten Ergebnisse bestätigen teilweise die Angaben in der Literatur [29,37,57]. Wildburger et al. [136] beschrieben, dass bis zu 75% der Patienten nach operativer Behandlung einer thorakolumbalen und lumbalen Wirbelkörperfraktur ihre Arbeit wieder aufnehmen konnten. In einer Arbeit von Lieferink et al. [80] waren dagegen 50% der Patienten ihrer alten Tätigkeit nicht mehr arbeitsfähig. Trotz der unterschiedlichen Angaben bezüglich der Arbeitsfähigkeit nach der Frakturbehandlung ist aufgrund der häufig im Berufsleben stehenden Patienten die hohe Bedeutung für die Volkswirtschaft und damit auch die Dringlichkeit einer optimalen Behandlung mit Wiedererlangung der Wirbelsäulenphysiologie hervorzuheben.

4.6 Schlussfolgerungen

Der Verlust der Korrekturstellung nach Implantation eines Fixateur interne bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule ist abhängig von der Frakturform, insbesondere von der Anzahl der verletzten Säulen des Wirbelkörpers und dadurch auch vom Frakturtyp der Meyer-Klassifikation. Damit ist bereits präoperativ eine Aussage über das Behandlungsergebnis hinsichtlich der verbleibenden Fehlstellung möglich, die Therapieplanung kann optimiert werden. Bei instabilen Typ B-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation oder auch einer Frakturausdehnung auf 2 Säulen des Wirbelkörpers steht mit dem Fixateur interne ein geeignetes Verfahren zur Verfügung, die erreichte Korrekturstellung ausreichend gut zu stabilisieren; der verbleibende kyphotische Knick nach Abschluss der Frakturbehandlung ist gering. Aufwendigere kombinierte bzw. zusätzliche, den Patienten stärker belastende Verfahren zur Stabilisierung der ventralen Säule des Wirbelkörpers sind neben der Fixateur interne-Implantation nicht erforderlich. Dagegen kann der Fixateur interne die korrigierte Achsenstellung bei Typ C-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation nicht genügend halten, es kommt zu einem Verlust des Repositionsergebnisses mit einer deutlichen posttraumatischen Fehlstellung. Das Zusammensinken der Korrekturstellung ist hauptsächlich auf den Zwischenwirbelraum der zerstörten Bandscheibe zurückzuführen und tritt im ersten Jahr nach der Fixateurimplantation auf. Eine von dorsal her durchgeführte inter- oder intrakorporelle Spongiosaplastik kann das Ausmaß des Korrekturverlustes dabei jedoch nicht beeinflussen.

Trotz der guten klinischen Behandlungsergebnisse mit dem Fixateur interne bei instabilen Typ C-Frakturen nach der Meyer-Klassifikation oder Frakturen mit einer Beteiligung aller 3 Säulen ist wegen des hohen Korrekturverlustes mit deutlicher kyphotischer Fehlstellung eine zusätzliche ventrale oder laterale Stabilisierung zu empfehlen.

5 Zusammenfassung

Einleitung: Die operative Versorgung von thorakolumbalen und lumbalen Frakturen ist uneinheitlich. Über den Fixateur interne als einem komplikationsarmen Verfahren mit einer progredienten Achsabweichung nach der Korrektur wurde berichtet. Zur Vermeidung einer Fehlstellung werden aufwendigere kombinierte dorso-ventrale bzw. laterale Techniken häufig empfohlen. Inwieweit jedoch die erneute Achsabweichung nach Reposition durch den Fixateur interne von der Form der Wirbelverletzung bzw. vom Frakturtyp abhängt, wurde bisher nicht aufgezeigt. **Patienten und Methoden:** In der vorliegenden Langzeituntersuchung wurden die klinischen und radiologischen Verläufe von 92 Patienten, welche aufgrund einer instabilen Fraktur des thorakolumbalen und lumbalen Bereiches mit einem Fixateur interne versorgt wurden, über einen durchschnittlichen Zeitraum von 15 Monaten nachuntersucht. Dabei wurde insbesondere auf das Ausmaß des Korrekturverlustes in Abhängigkeit von der Frakturform - in Anlehnung an die einfach anzuwendende „Universal Spine Fracture Classification“ nach Meyer - eingegangen. Es wurde weiterhin u. a. untersucht, ob verschiedene Verfahren zur Rekonstruktion der ventralen Säule über den dorsalen Zugang den Korrekturverlust beeinflussen konnten und welche Bedeutung eine verbleibende posttraumatische Fehlstellung für den Patienten hat. **Ergebnisse:** Die erneute Achsabweichung nach der operativen Korrektur zeigt eine hochsignifikante Abhängigkeit von Frakturmerkmalen in Anlehnung an die Meyer-Klassifikation: Frakturen vom Typ C sintern durchschnittlich um 12° zusammen, Frakturen vom Typ B dagegen nur um 4° ($p < 0,001$). Der Hauptkorrekturverlust tritt im Bereich des Zwischenwirbelraumes oberhalb des gebrochenen Wirbels auf. Eine intra- oder interkorporelle Spongiosaplastik hatte keinen wesentlichen Einfluß auf den Korrekturverlust. Die verbleibende posttraumatische Fehlstellung beträgt beim Typ C 16°, Typ B weist im Durchschnitt eine Kyphose von nur 5° auf ($p < 0,001$). Ein Zusammenhang zwischen der Fehlstellung und dem klinischen Ergebnis fand sich nicht: 84 % der Patienten waren nach der Frakturbehandlung durch einen Fixateur interne schmerzfrei oder klagten nur selten über nicht schmerzmittelpflichtige Beschwerden. **Schlussfolgerungen:** Die Meyer-Klassifikation bietet eine gute Möglichkeit, verbleibende Achsabweichungen bzw. den Korrekturverlust nach einer Fixateur interne-Behandlung vorherzusagen, die Therapieplanung kann dadurch verbessert werden. Welche Folgen die posttraumatische Fehlstellung für die Patienten hat, lässt sich mit dieser Arbeit nicht sicher klären. Möglicherweise bildeten sich die durch die Fehlstatik der Wirbelsäule bedingten Beschwerden innerhalb des doch relativ kurzen Nachuntersuchungszeitraumes aufgrund der anfänglich guten Kompensationsmöglichkeiten der Wirbelsäule noch nicht aus. Hinsichtlich der doch erheblichen verbleibenden Fehlstellung bei Typ C-Frakturen sollte zusätzlich zum Fixateur interne eine ventrale oder laterale Stabilisierung in Betracht gezogen werden. Diese aufwendigeren, den Patienten stärker belastenden Verfahren sind dagegen bei Typ B-Frakturen nicht notwendig.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Aebi M, Etter C, Kehl T, Thalgott J: Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with the internal spinal skeletal fixation system. Indications, techniques, and first results of treatment. Spine 12. 544-51 (1987)
2. Aebi M, Etter C, Kehl T, Thalgott J: The internal skeletal fixation system. A new treatment of thoracolumbar fractures and other spinal disorders. Clin. Orthop. 227. 544-51 (1988)
3. Aebi M: 3. Brust- und Lendenwirbelsäule – Therapie . In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Orthopädie in Praxis und Klinik. Spezielle Orthopädie. 2. Aufl. Thieme. pp 3133-68. Stuttgart New York 1994
4. Atlas SW, Regenbogen V, Rogers LF, Kim KS: The radiographic characterization of burst fractures of the spine. Am. Jour. Rad. 147. 575-82 (1986)
5. Beck E, Böhler J: Die Verletzung der Wirbelsäule ohne Markschädigung. Chirurgie der Gegenwart. Unfallchirurgie 4. 2-26 (1980)
6. Beck E: Konservative Behandlung von Frakturen und Luxationen von Thorax- und Lendenwirbelsäule. Hefte Unfallheilkd. 149. 119-29 (1980)
7. Beck E: Röntgenologische Meßmethoden bei Wirbelbrüchen. Hefte Unfallheilkunde 108. 36-7 (1971)
8. Bedbrook GM: Spinal injuries with tetraplegia and paraplegia. J. Bone Joint Surg. Br. 61. 267-84 (1979)
9. Been HD: Anterior decompression and stabilization of thoracolumbar burst fracture by the use of Slot- Zielke devices. Spine 16. 70- 7 (1991)
10. Bernhardt M, Bridwell KH: Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. Spine 14. 717-21 (1989)
11. Blauth M, Bastian L, Knop C, Lange U, Tusch G: Interobserverreliabilität bei der Klassifikation von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. Orthopäde 28. 662-81 (1999)
12. Blauth M, Knop C, Bastian L, Lobenhoffer P: Neue Entwicklungen in der Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. Orthopäde 26. 437-49 (1997)
13. Boerger TO, Limb D, Dickson RA: Does canal clearance affect neurological outcome after thoracolumbar burst fractures? J. Bone Joint Surg. Br. 82. 629-35 (2000)
14. Böhler J: Konservative Behandlung von Brüchen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Z. Unfallmed. Berufserkr. 2. 100-4 (1972)
15. Böhler J: Operative Behandlung von Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Hefte der Unfallheilkd. 108. 145-48 (1971)

16. Böhler L: Der derzeitige Stand der Behandlung von Wirbelbrüchen. Zentr. Org. Ges. Chir. 89. 21 (1938)
17. Böhler L: Die Technik der Knochenbruchbehandlung, Band 1. Maudrich, Wien 1930
18. Burstein AH: Fracture classification systems: do they work and are they useful? J. Bone Joint Surg. Am. 75. 1743-4 (1993)
19. Cantor JB, Lebowitz NH, Garvey T, Eismont FJ. Nonoperative management of stable thoracolumbar burst fractures with early ambulation and bracing. Spine 18. 971-6 (1993)
20. Charalambidis K, Muggler E: Wirbelfrakturen der unteren Wirbelsäule-Ergebnisse nach konservativer Behandlung. Helv. Chir. Acta 47. 129-32 (1980)
21. Chow GH, Nelson BJ, Gebhard JS, et al.: Functional outcome of thoracolumbar burst fractures managed with hyperextension casting or bracing and early mobilization. Spine 21. 2170-5 (1996)
22. Cobb J R: Outline for the study of scoliosis. American Academy of Orthopaedic Surgeons: Instructional Course Letters, No. 5. Edwards Bros, Ann Arbor. 261 (1948)
23. Convery FR, Minter MA, Smith RW, Emerson SM: Fractures-dislocations of the dorsolumbar spine. Acute operative stabilization by Harrington instrumentation. Spine 3. 160-6 (1978)
24. Crawford RJ, Askin GN: Fixation of thoracolumbar fractures with the Dick fixator, the influence of transpedicular bone grafting. Eur. Spine J. 3. 45-51 (1994)
25. Daniaux H, Seykora P, Genelin A, Lang T, Kathrein A: Application of posterior plating and modifications in thoracolumbar spine injuries. Spine 12. 882-0 (1991)
26. Daniaux H: Transpedikuläre Reposition und Spongiosaoplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg 89. 197-213 (1986)
27. Dekutoski MB, Conlan ES, Saliccioli GG: Spinal mobility and deformity after Harrington rod stabilization and limited arthrodesis of thoracolumbar fractures. J. Bone Joint Surg. Am. 75. 168-76 (1993)
28. Deines H, Grapow H, Westendorf W: Grundriss der Medizin der alten Ägypter. Bd 5. Akademie Verlag. Berlin 1958
29. Denis F, Armstrong G, Searls K, Matta L: Acute thoracolumbar burst fractures in the absence of neurologic deficit. Clin. Orthop. Relat. Res. 189. 142-9 (1984)
30. Denis F: Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. Clin. Orthop. 184. 65-76 (1984)
31. Denis F: The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8. 817-31 (1983)
32. Dick W: Fixateur interne. In: Wiedermann E (Hrsg.): Verletzungen der Wirbelsäule. Hefte Unfallheilk 225. 62-70 (1989)

33. Dick W: Fixateur interne. State of the art reviews. Spine 6. 147-72 (1992)
34. Dick W: Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen. Aktuelle Probleme in Chirurgie und Orthopädie. 28. Huber. Bern 1984
35. Dick W: Osteosynthese schwerer Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule mit dem Fixateur interne. Langenbecks Arch. Chir. 364. Kongressbericht (1984)
36. Dick W: The "Fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery. Spine 12. 882-900 (1987)
37. Domenicucci M, Preite R, Ramieri A, et al.: Thoracolumbar fractures without neurosurgical involvement: surgical or conservative treatment? J. Neurosurg. Sci. 40. 1-10 (1996)
38. Dunn HK: Anterior spine stabilization and decompression for thoraco-lumbar injuries. Orthop. Clin. North Am. 17. 113-9 (1986)
39. Dürr W: Brust- und Lendenwirbelsäule, konservative und funktionelle Therapie. Langenbecks Arch. Chir. Suppl. II. Kongressbericht (1988)
40. Eberl R, Kaminski A, Müller EJ, Muhr G: Die Bedeutung des Wirbelkanaldurchmessers im thoracolumbalen und lumbalen Bereich nach Trauma. Orthopäde 32. 859-64 (2003)
41. Esses SI, Botsford DJ, Kostuik JP: Evaluation of surgical treatment for burst fractures. Spine 15. 667-73 (1990)
42. Esses SI, Botsford DJ, Kostuik JP: Operative treatment of spinal fractures with the AO internal fixator. Spine 16. 146-50 (1991)
43. Esses SI: The AO spinal internal fixateur. 3. Annual Meeting of the North American Spine Society, Colorado Springs, Colorado 1988
44. Eysel P, Hopf C, Fürderer S: Kyphotische Deformierungen bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Orthopäde 30. 955-64 (2001)
45. Eysel P, Meinig G: Comparative study of different dorsal stabilization techniques in recent thoraco-lumbar spine fractures. Acta. Neurochir. Wien 109. 12-19 (1991)
46. Eysel P, Meinig G, Sanner F: Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher dorsaler Stabilisierungsverfahren bei frischen Frakturen der Rumpfwirbelsäule. Unfallchirurgie 17. 264-73 (1991)
47. Feil J, Wörsdorfer O: Ventrale Stabilisierung im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule. Chirurg 63. 856-65 (1992)
48. Fernandez FF, Winkler H, Koepke J, Merkel G: Klinische und MRT Untersuchungen zum Langzeiteinwachsverhalten von autologen Spongiosaplastiken bei instabilen thorakolumbalen Wirbelfrakturen. Jahreskongress Osteosynthese international. Frankfurt/M. 1999
49. Flamm ES, Percival Pott: An 18th century neurosurgeon. J. Neurosurg. 76. 319-26 (1992)

50. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michelis LS, Ungar GH, Vernon JDS, Walsh JJ: The Value of Postural Reduction in the Initial Management of Closed Injuries of the Spine with Paraplegia and Tetraplegia. Part I. Paraplegia 7. 179 – 192 (1979)
51. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, McEnery KW: An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. Spine 20. 1351-8 (1995)
52. Gertzbein SD, Court-Brown CM, Marks P, Martin C, Fazel M, Schwartz M, Jacobs RR: The neurological outcome following surgery for spinal fractures. Spine 13. 641-44 (1988)
53. Gertzbein SD, Macmichael D, Tile M: Harrington instrumentation as a method of fixation in fractures of the spine. A critical analysis of deficiencies. J. Bone Joint Surg. Br. 64. 526-9 (1982)
54. Gertzbein SD. Scoliosis research society multicenter spine fracture study. Spine. 17. 528-40 (1992)
55. Gertzbein SD: Neurologic deterioration in patients with thoracic and lumbar fractures after admission to the hospital. Spine 19. 1723-29 (1994)
56. Gotzen L, Junge A, Koppelberg T, Stiletto R: Fortschritte in der Fixateur- interne- Stabilisierung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 98. 79-86 (1995)
57. Gotzen L, Puplat D, Junge A: Indications, technique and results of monosegmental dorsal spondylodesisi in wedge compression fractures (grade II) of the thoracolumbar spine. Unfallchirurg 95. 445-54 (1992)
58. Graxier KL, Holbrook TL, Kelsey JL : The frequency of occurrence, impact and cost of muskuloskeletal conditions in the United States. Chicago, American Academy of Orthopaedic Surgeons (1984)
59. Guttmann L: Spinal deformities in traumatic paraplegics and tetraplegics following surgical procedures. Paraplegia 7. 38-58 (1969)
60. Harms J, Stoltze D: The indications and principles of correction of post-traumatic deformities. European Spine Journal 1. 142-151 (1992)
61. Harrington PR: Treatment of scoliosis: correction and internal fixation by spine instrumentation. June 1962. J. Bone Joint Surg. Am. 84. 316 (2002)
62. Hashimoto T, Kaneda K, Abumi K. Relationship between traumatic spinal canal stenosis and neurologic deficits in thoracolumbar burst fracture. Spine 13. 1268-72 (1988)
63. Holdsworth FW: Fractures, dislocations and fractures-dislocations of the spine. J. Bone Joint Surg. Br. 45. 6 (1963)
64. Holm ST, Nachemson A : Nutritional changes in the canine intervertebral disc after spinalfusion. Clin. Orthop. 169. 243-58 (1982)

65. Jacobs RR, Dahners LE, Gertzbein S, Nordwall A, Mathys R : A locking hook-spinal rod : current status of development. *Paraplegia* 21. 197-207 (1983)
66. James KS, Wenger KH, Schlegel JD, Dunn HK: Biomechanical evaluation of the stability of thoracolumbar burst fractures. *Spine* 19. 1731-40 (1994)
67. Jöllenbeck B, Barth U, Firsching R, Synowitz HJ: Die operative Behandlung von Verletzungen der Wirbelsäule. *Arzteblatt Sachsen-Anhalt* 10. 44-8 (1999)
68. Josten C, Katscher S, Gonschorek O: Therapiekonzepte bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule. *Orthopäde* 34. 1021-32 (2005)
69. Kaneda K, Abumi K, Fujita M: Burst fractures with neurological deficits of the thoracolumbar-lumbar spine. Results of anterior decompression and stabilization with anterior instrumentation. *Spine* 9. 788-5 (1984)
70. Kluger G, Gerner HJ: Das mechanische Prinzip des Fixateur externe zur dorsalen Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchir.* 12. 68-79 (1986)
71. Knop C, Bastian L, Lange U, Blauth M: Transpedikuläre Spongiosaplastik am thorakolumbalen Übergang, Klinische, röntgenologische und computertomographische Ergebnisse. *Orthopäde* 28. 703-13 (1999)
72. Knop C, Blauth M, Bastian L, Lange U, Kesting J, Tscherne H: Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule, Spätergebnisse nach dorsaler Instrumentierung und ihre Konsequenzen. *Unfallchirurg* 100. 630-39 (1997)
73. Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax M, et al: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Überganges. 1. Epidemiologie. *Unfallchirurg* 102. 924-35 (1999)
74. Knop C, Blauth M, Bühren V, Arand M, Egbers HJ, Hax M, Nothwang J, Oestern HJ, Pizanis A, Weckbach A, Wentzensen A: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Überganges-Teil 3: Nachuntersuchung. *Unfallchirurg* 104. 583-600 (2001)
75. Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax P-M, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdörfer O: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Überganges, Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. *Unfallchirurg* 103. 1032-42 (2000)
76. Kortmann HR, Jürgens C, Wolter D: Veränderungen der Spinalkanalweite durch operative Behandlung instabiler thorakolumbalen Wirbelfrakturen mittels dorsaler transpedikulärer Spondylodese. 57. Jahrestagung Dtsch. Ges. Unfallchir. Berlin 1993
77. Kossmann T, Ertel W, Platz A, Trentz O: Combined surgery for fractures of the thoracolumbar junction using the inlay-span method. *Orthopäde* 28. 432-40 (1995)
78. Kostuik JP: Anterior fixation for burst fractures of the thoracic and lumbar spine with or without neurological involvement. *Spine* 13. 257-66 (1988)
79. Kuklo TR, Polly DW, Brett DO, Zeidmann SM, Chnag SA, Klemme WR: Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis. Evaluation of Intraobserver, Interobserver, and Technique Variability. *Spine* 26. 61-6 (2001)

80. Leferink VJM, Keizer HJE, Oosterhuis JK, van der Sluis CK, ten Duis HJ : Functional outcome in patients with thoracolumbar burst fractures treated with dorsal instrumentation and transpedikular cancellous bone grafting. *Eur. Spine J.* 12. 261-7 (2003)
81. Liljenqvist U, Mommsen U: Die operative Behandlung thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen mit Fixateur interne und transpedikulärer Spongiosaplastik. *Unfallchirurg* 21. 30-39 (1995)
82. Lindsey RW, Dick W: The fixateur interne in the reduction and stabilization of thoracolumbar spine fractures in patients with neurologic deficit. *Spine* 16. 140-5 (1991)
83. Liu CL, Wang ST, Lin HJ, Kao HC, Yu WK, Lo WH : AO Fixateur interne in treating burst fractures of the thoracolumbar spine. *Chin. Med. Taipei* 62. 619-25 (1999)
84. Louis R: Les theories de l' instabilite. *Rev. Chir. Orthop.* 63. 423-25 (1977)
85. Luque ER, Cassis N, Ramirez-Wiella G: Segmental spinal instrumentation in the treatment of fractures of the thoracolumbar spine. *Spine* 7. 312-7 (1982)
86. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S: A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur. Spine J.* 3. 184-201 (1994)
87. Magerl F: Klassifizierung der Wirbelsäulenverletzungen. *Hefte Unfallheilk.* 189. 597 (1987)
88. Magerl FP: Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin. Orthop.* 189. 125-41 (1984)
89. Magnus F: Die Behandlung und Begutachtung des Wirbelbruchs. *Arch. Orthop. Unfallchir.* 29. 277 (1930)
90. Magnus G: Zur Behandlung der Wirbelbrüche. *Arch. Klin. Chir.* 191. 547 (1938)
91. Matthis W, Biedermann L: Biomechanical analysis of the load- sharing principle using TSRH and the MOSS-device. Posterexhibition. *Int. Meeting on Advanced Spine Techniques.* München 1994
92. McAfee PC, Bohlmann H, Hansen A: Anterior decompression of traumatic thoracolumbar fractures with incomplete neurologic deficit using a retroperitoneal approach. *J. Bone Joint Surg. Am.* 57. 1-9 (1985)
93. McAfee PC, Bohlmann HH, Yuan HA: Anterior decompression of traumatic thoracolumbar fractures with incomplete neurological deficit using a retroperitoneal approach. *J. Bone Joint Surg. Am.* 67. 89-104 (1985)
94. McAfee PC, Regan JR, Fedder IL, Mack MJ, Geis WP: Anterior thoracic corpectomy for spinal cord decompression performed endoscopically. *Surg. Laparosc. Endosc.* 5. 339-4 (1995)
95. McAfee PC, Yuan HA, Lasda NA: The unstable burst fracture. *Spine* 7. 365-73 (1982)

96. McLain RF, Sparling E, Benson DR. Early failure of shortsegment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. *J. Bone Joint Surg. Am.* 75. 161-7 (1993)
97. Meyer P: Universal Spine Fracture Classification. *Chir. Organi. Mov.* 85(2). 95-100 (2000)
98. Müller U, Berlemann U, Sledge J, Schwarzenbach O : Treatment of thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit by indirect reduction and posterior instrumentation: bisegmental stabilization with monosegmental fusion. *Eur. Spine J.* 8. 284-9 (1999)
99. Mumford J, Weinstein JN, Spratt KF, Goel VK. Thoracolumbar burst fractures, the clinical efficacy and outcome of nonoperative management. *Spine* 15. 955-70 (1993)
100. Nagel DA, Koogle TA, Piziali RL, Perkash I: Stability of the upper lumbar spine following progressive disruptions and the application of the individual internal and external fixation devices. *J. Bone Joint Surg. Am.* 63. 62-72 (1981)
101. Nicoll EA: Fractures of the dorsolumbar spine. *J. Bone Joint Surg. Br.* 31. 376-94 (1949)
102. Niethard FU: Das Sinterungsverhalten von Wirbelkörperfrakturen bei Behandlung mit dem Drei-Punkte-Korsett. *Aktuelle Traumatol.* 15. 159-64 (1985)
103. Nolte LP, Steffen R, Krämer, Jergas M: Der Fixateur interne: Eine vergleichende biomechanische Studie verschiedener Systeme. *Akt. Traumatol.* 23. 20-6 (1993)
104. Oner FC, Dhert WJ, Verlaan JJ: Less invasive anterior column reconstruction in thoracolumbar fractures. *Injury* 36. 82-9 (2005)
105. Oner FC, Ramos LMP, Simmermacher RKJ, Kingma PTD, Diekerhof CH, Dhert WJA, Verbot AJ: Classification of thoracic and lumbar spine fractures: problems of reproducibility: A study of 53 patients using CT and MRI. *Eur. Spine J.* 11. 235-45 (2002)
106. Oner FC, van der Rijt RR, Ramos LM, Dhert WJ, Verbout AJ: Changes in the disc space after fractures of the thoracolumbar spine. *J. Bone Joint Surg. Br.* 80. 833-9 (1998)
107. Panjabi MM, Hausfeld JN, White AA: A biomechanical study of the ligamentous stability of the thoracic spine in man. *Acta Orthop. Scand.* 52. 315-26 (1981)
108. Panjabi MM, Kinfune M, Wen L, Arand M, Oxland TR, Lin RM, Yoon WS, Vasavada A: Dynamic canal encroachment during thoracolumbar burst fractures. *J. Spinal Disord.* 8. 39-48 (1995)
109. Parker JW, Lane JR, Karaikovic EE, Gaines RW: Successful short segment instrumentation and fusion for thoracolumbar spine fractures: A consecutive 4 ½ year series. *Spine* 25. 1157-70 (2000)
110. Pickel H, Hofmeister M, Mückley T, Bühren V: Schicksal der transpedikulären Spongiosaplastik nach Frakturversorgung. *Hefte Unfallchir.* 268. 251-9 (1997)
111. Plaue R: Trends und Ergebnisse der Wirbelbruchbehandlung. *Z. Orthop.* 126. 345-52 (1988)

112. Poulakou-Rebelakou E, Marketos SG: Kidney disease in Byzantine medical texts. *Am. J. Nephrol.* 19. 172-6 (1999)
113. Rehtine GR, Cahill D, Chrin AM: Treatment of thoracolumbar trauma: Comparison of complications of operative versus nonoperative treatment. *J. Spinal Disord.* 12. 406-09 (1999)
114. Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M: Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Unfallchir.* 106. 566-76 (2003)
115. Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D, Marie-Anne S: Early management of spinal injuries. McKibbin B (ed) *Recent advances in orthopaedics.* pp 57-87. Churchill Livingstone Edinburgh 1979
116. Roy-Camille R, Saillant G, Marie-Anne S, Mamoudy P : Behandlung von Wirbelfrakturen und – luxationen am thoraco-lumbalen Übergang. *Orthop.* 9. 63-8 (1980)
117. Roy-Camille R, Saillant G: Les traumatismes du rachis sans complication neurologique. *Int. Orthop.* 8. 155-62 (1984)
118. Sanderson PL, Fraser RD, Hall DJ, Cain CMJ, Osti OL, Potter GR : Short segment fixation of thoracolumbar burst fractures without fusion. *Eur. Spine J.* 8. 495-0 (1999)
119. Schlickewei W, Hauser U, Kuner E: Remodeling des Spinalkanals nach Behandlung instabiler Frakturen im BWS- und LWS- Bereich. 57. Jahrestagung Dtsch. Ges. Unfallchir. Berlin 1993
120. Siebenga J, Leferink V, Segers M, et al.: Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: A multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment. *Spine* 31. 2881-90 (2006)
121. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, Gonon GP: Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine* 7. 335-42 (1982)
122. Stauffer ES, Neil JL : Biomechanical analyses of structural stability of internal fixation in fractures of the thoracolumbar spine. *Clin. Orthop.* 112. 159-64 (1975)
123. Steffee AD: The variable screw placement spinal fixation system, report of a prospective study of 250 patients. Enrolled in food and drug administration. *Clinical trials. Spine* 18. 1160-72 (1993)
124. Stoltze D, Harms J: Kombinierte Stabilisationsverfahren an der thorako-lumbalen Wirbelsäule. *Osteosyn. Intern.* 6. 157-48 (1998)
125. The genuine works of Hippocrates. Translated by Francis Adams, LLD. pp 232-43. William and Wilkins. Baltimore 1939
126. Trojan E: Langfristige Ergebnisse von 200 Wirbelbrüchen der Brust/Lendenwirbelsäule ohne Lähmung. *Z. Unfallmed. Berufserkr.* 2. 122-34 (1972)

127. van der Roer N, de Lange ESM, Bakker FC, de Vet HCW, van Tulder MW: Management of traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature. Eur. Spine J. 14. 527-34 (2005)
128. Verlaan JJ, Dhert WJ, Verbout AJ, Oner FC : Ballon vertebroplasty in combination with pedicle screw instrumentation : a novel technique to treat thoracic and lumbar burst fracture. Spine 30. 73-9 (2005)
129. Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Twel I, Verbout AJ, Dhert WJ, Oner FC : Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine : a systematic review of the literature on techniques, complications, and outcome. Spine 29. 803-14 (2004)
130. Wälchli B, Heini P, Berlemann U: Korrekturverlust nach dorsaler Stabilisierung von Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Überganges. Unfallchirurg 104. 742-7 (2001)
131. Watson-Jones R: Fractures and joint injuries. pp 311. Third Edition. Vol. 1. Willams&Wilkins. Baltimore 1944
132. Weidenbaum M, Farcy JPC: Surgical management of thoracic and lumbar burst fractures. Bridewell KH, DeWald RL, Eds. The Textbook of Spinal Surgery. pp 911-58. Lippincott. Philadelphia 1991
133. Weinstein JN, Collalto P, Lehmann TR. Thoracolumbar burst fractures treated conservatively: A long term follow-up. Spine 13. 33-8 (1988)
134. White AA, Panjabi MM: Clinical biomechanics of the spine, 2nd edn. Lippincott-Raven. Philadelphia. New York 1990
135. Whitesides TE: Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. Clin. Orthop. Relat. Res. 128. 78-92 (1977)
136. Wildburger R, Mähring M, Pszicsnyk T, Schweighofer F, Hofer HP : Arch. Orthop. Trauma. Surg. 113. 244-7 (1994)
137. Willen J, Lindahl S, Irstam L, Nordwall A: Unstable thoracolumbar fractures. A study by CT and conventional roentgenology of the reduction effect of Harrington Instrumentation. Spine 9. 214-9 (1984)
138. Willén J, Lindahl S, Nordwall A: Unstable thoracolumbar fractures. A comparative clinical study of conservative treatment and Harrington instrumentation. Spine 10. 111-22 (1985)
139. Wolter D: Vorschlag für eine Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 88. 481-93 (1985)
140. Wood KB, Khanna G, Vaccaro A, Arnold PM, Harris MB, Mehbod AA: Assessment of two thoracolumbar fracture classification systems as used by multiple surgeons. J. Bone Joint Surg. Am. 87. 1423-9 (2005)
141. Zifko B, Schödl F, Holzmüller W: Die konservative Behandlung von Brustwirbelbrüchen. Hefte Unfallheilkd. 108. 84-87 (1971)

DANKSAGUNGEN

Zuerst möchte ich von Herzen meiner Familie, der diese Arbeit gewidmet ist, für ihre Geduld und Unterstützung danken. Besonders meine Frau Anika und meine Tochter Luisa mussten zeitliche Entbehrungen hinnehmen; ohne ihre verständnisvolle, aufbauende und liebevolle Art wäre die Fertigstellung der Arbeit nicht möglich gewesen. Gebührend danken möchte ich meiner Mutter, Frau Inge Klawunde, Physiotherapeutin und meinem Vater, Herrn MR Dr. med. Gerhard Klawunde; durch ihre reichen fachlichen und menschlichen Erfahrungen erhielt ich wichtige Hinweise, Ideen und Motivationen, die für das Gelingen der Abhandlung essentiell waren.

Herrn Prof. Dr. med. Raimund Firsching, Direktor der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg, danke ich sehr für die Überlassung des Themas der Dissertation sowie für seine stete und unkomplizierte Bereitschaft, Fragen zu beantworten und Probleme zu lösen. Ebensolcher Dank gilt Herrn Oberarzt Dr. med. Boris Jöllenbeck für die ausdauernde, kompetente und freundschaftliche Betreuung der Arbeit.

Bei der Analyse der Daten stand mir Frau Dipl.-Ök. Peters, Institut für Biometrie und Medizinische Informatik, Direktor Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. Bernarding, dankenswerter Weise sehr hilfreich zur Seite. Für die Überlassung der Röntgen- und CT-Aufnahmen danke ich Herrn Prof. Dr. med. Döhring, ehemaliger Direktor der Klinik für Diagnostische Radiologie sowie Herrn Prof. Dr. med. Skalej, Direktor des Instituts für Neuroradiologie des Universitätsklinikum Magdeburg. Nicht zuletzt gilt mein Dank auch Frau Jakobschak, Sekretärin der Neurochirurgischen Universitätsklinik Magdeburg, für das Heraussuchen der Krankenblätter sowie den Medizinisch-technischen Assistenten Herrn Nabel und Herrn Zimmermann bei der Hilfe zur Digitalisierung der Bildgebung.

ERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

„Der Langzeitverlauf des Korrekturergebnisses nach Implantation eines Fixateur interne bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule in Abhängigkeit von der Frakturform,,

in der Klinik für Neurochirurgie

ohne Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den

DARSTELLUNG DES BILDUNGSWEGES

Persönliche Daten

Name: Philipp Klawunde
Geburtsdatum: 18.11.1973
Geburtsort: Berlin-Buch
Familienstand: verheiratet, 1 Tochter
Staatsangehörigkeit: deutsch
Eltern: Vater, MR Dr. med. Gerhard Klawunde, Arzt
Mutter, Inge Klawunde, geb. Vierkorn, Physiotherapeutin

Schulbildung

1980-1990 Polytechnische Oberschule Max-Lenk, Zepernick bei Berlin
1990-1992 Gymnasium, Erweiterte Oberschule Geschwister Scholl, Bernau bei Berlin

Wehrdienst

10/1992-12/1992 Grundausbildung zum Soldaten der Luftwaffensicherungstruppe, Holzdorf, Brandenburg
01/1993-09/1993 Personalverwalter Flugabwehrraketengeschwader 52, Ladeburg bei Berlin, Entlassung als Obergefreiter der Reserve

Ausbildung

09/1993-03/2000 Studium der Humanmedizin an der Humboldt-Universität zu Berlin

Berufserfahrung

10/2000-03/2002 Arzt im Praktikum in der Orthopädischen Klinik des Helios-Klinikum Berlin-Buch, Prof. Dr. med. Zacher
seit 04/2002 Assistenzarzt in der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikum Magdeburg, Direktor Prof. Dr. med. Firsching

Fort- und Weiterbildung

03/2003 Seminar „The future of Arthrodesis in degenerative disc disease“, Schweiz
05/2003 AO-Seminar Innovation in der Wirbelsäulenchirurgie, Essen

11/2004	23. Fortbildungstagung der DGNC, Thema: Hirntumore, Seeheim-Jugendheim
04/2005	Prüfungskurs Chirotherapie der DGMC, Erlangung Zusatzbezeichnung Chirotherapie
09/2005	Ultraschall in der Neurochirurgie, Greifswald
11/2005	EEG Kurs, Zwickau
11/2005	24. Fortbildungstagung der DGNC, Thema: Wirbelsäule, Seeheim-Jugendheim
03/2006	IV. Kurs Periphere Nerven, Günzburg
10/2006	Kraniotomiekurs, Frankfurt am Main
11/2006	25. Fortbildungstagung der DGNC, Thema: Pädiatrische Neurochirurgie, Bonn

Magdeburg, den

VERÖFFENTLICHUNGEN

Pelz AF ¹, Klawunde P ¹, Wieacker P, Schneider T, Kirches E Skalej M, Mawrin C: Novel chromosomal aberrations in a recurrent malignant meningeoma. Cancer Genetics and Cytogenetics. 174. 48-53 (2007), ¹ Both authors contributed equally to this work.

Hahne R, Jöllenbeck B, Klawunde P, Firsching R: Follow up results after implantation of BRYAN TM cervical disc prostheses. European Spine Journal, Abstracts of the German Spine Congress. 2006

POSTER

Klawunde P, Jöllenbeck B, Firsching R: Korrekturstellung nach thorakolumbaler Wirbelkörperfraktur, Langzeitergebnisse nach Operation. Posterpräsentation bei der gemeinsamen Jahrestagung der DGNC und SFNC, Straßburg , 2005

Klawunde P, Mawrin C, Pelz AF, Schneider T: Unique chromosomal aberration in a recurrence malignant meningeoma, Posterpräsentation Jahrestagung der DGNC, Essen, 2006

Klawunde P, Mawrin C, Pelz AF, Schneider T: Unique chromosomal aberration in a recurrence malignant meningeoma, poster presentation at the 7th Congress of the European Association for Neurooncology (EANO), September 14-17, 2006 at the Hofburg Congress Center Vienna

VORTRÄGE

Klawunde P, Jöllenbeck B, Firsching R: Die Behandlung von Wirbelkörperfrakturen: Korrekturstellung nach Operation thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen. Klinisches Kolloquium Neuromedizin der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 25.1.2006

Hahne R, Jöllenbeck B, Klawunde P, Firsching R: Follow up results after implantation of BRYAN™ cervical disc prostheses. German spine congress 2006, München

PREISE

„Bestes Wirbelsäulenposter“ anlässlich der gemeinsamen Jahrestagung der DGNC und SFNC 2005, Straßburg: Klawunde P, Jöllenbeck B, Firsching R: Korrekturstellung nach thorakolumbaler Wirbelkörperfraktur, Langzeitergebnisse nach Operation.

ANHANG

Tabelle 12: Patientenliste

PATIENTEN- NUMMER	NAMENSKÜRZEL (ERSTER BUCHSTABE VOM NAMEN UND VORNAMEN)	GEBURTSDATUM	KRANKENBLATTNUMMER
1	SP	13.06.1938	56/96
2	MH	10.02.1950	49/96
3	NK	21.10.1974	312/96
4	GA	06.08.1937	345/96
5	OM	11.12.1962	646/96
6	SV	09.06.1958	743/95
7	JW	11.12.1926	526/95
8	DA	31.08.1967	382/97
9	TH	19.02.1944	441/96
10	GB	03.07.1966	603/96
11	DI	26.08.1964	303/95
12	SG	10.03.1955	724/96
13	MH	02.07.1931	167/95
14	SS	03.03.1973	234/95
15	WH	09.03.1963	281/95
16	SF	01.09.1957	111/96
17	SW	27.08.1939	155/96
18	FU	06.02.1957	- (Klinik f. Unfallchirurgie)
19	ML	17.01.1926	489/96
20	KK	18.08.1965	739/96
21	SA	08.05.1946	963/96
22	SH	18.10.1939	1017/96
23	HU	24.03.1939	41/97
24	GO	07.03.1978	141/97
25	SR	13.02.1951	195/97
26	SP	20.05.1958	761/97
27	SN	03.11.1979	909/97
28	HN	19.10.1978	942/97
29	FN	21.09.1978	1211/97
30	PJ	20.03.1963	16/98
31	MR	24.01.1939	282/98
32	LA	09.03.1980	445/98
33	LW	28.08.1937	483/98
34	FP	04.12.1958	623/98
35	MK	02.03.1980	647/98
36	LW	14.01.1924	665/98
37	LW	21.05.1939	723/98
38	KH	28.12.1951	886/98
39	JW	21.09.1948	904/98
40	SI	24.09.1953	931/98
41	GS	10.09.1961	959/98
42	HK	01.10.1955	985/98
43	SR	17.08.1941	1102/98
44	HM	30.10.1971	1112/98
45	FU	27.10.1945	1163/98
46	HW	15.06.1944	493/99
47	HP	19.06.1943	525/99
48	TJ	23.05.1944	723/99

49	LC	12.12.1950	782/99
50	WC	28.11.1930	943/99
51	DH	08.04.1928	1010/99
52	BM	27.06.1974	1070/99
53	KG	25.10.1938	1345/99
54	DL	19.02.1943	51/00
55	SP	20.08.1957	221/00
56	JJ	13.05.1977	240/00
57	MM	16.05.1941	298/00
58	EF	17.05.1960	372/00
59	WJ	23.05.1979	396/00
60	HR	23.02.1935	448/00
61	SH	02.11.1942	525/00
62	GC	10.12.1946	664/00
63	NA	21.12.1934	692/00
64	JM	19.02.1979	709/00
65	BA	01.08.1954	738/00
66	HM	07.05.1979	1094/00
67	WR	13.05.1957	1553/00
68	BG	04.09.1965	150/01
69	SS	02.10.1979	369/01
70	KR	08.06.1967	503/01
71	KS	13.02.1983	1131/01
72	HH	20.01.1967	1278/01
73	ZC	25.08.1941	1374/03
74	MG	31.01.1962	1532/03
75	PC	18.11.1957	230/04
76	SR	07.12.1942	274/04
77	WH	18.12.1948	583/04
78	TH	28.11.1951	629/04
79	BF	08.09.1964	731/04
80	BD	07.03.1936	923/04
81	RM	01.01.1956	939/04
82	PS	13.04.1984	1091/04
83	RR	07.05.1950	1321/04
84	SH	20.12.1943	1262/04
85	KR	08.06.1936	1297/04
86	BF	05.05.1948	1298/04
87	HW	24.06.1934	1323/04
88	GG	19.09.1950	1483/04
89	KH	14.04.1953	1555/04
90	WV	05.10.1963	1638/04
91	DR	29.04.1980	1688/04
92	MJ	16.11.1937	1845/04